

Nuno Tiago Lopes Martins

**COMPATIBILIZAÇÃO DE EXIGÊNCIAS RELATIVAS A
ILUMINAÇÃO E GANHOS SOLARES EM EDIFÍCIOS DE
HABITAÇÃO**

Monte da Caparica

2010

Departamento de Engenharia Civil

COMPATIBILIZAÇÃO DE EXIGÊNCIAS RELATIVAS A ILUMINAÇÃO E GANHOS SOLARES EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Nuno Tiago Lopes Martins

(Licenciado em Ciências da Engenharia Civil)

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau académico de Mestre em Engenharia Civil, na especialidade de Reabilitação de Edifícios.

Orientador: Professor Doutor Vasco Moreira Rato

Júri

Presidente: Professor Doutor Daniel Aelenei

Vogais: Professor Doutor Miguel J. N. P. Amado
Professor Doutor Vasco Moreira Rato

Dezembro de 2010

AGRADECIMENTOS

Quero expressar a minha gratidão a todos os que tornaram possível a realização e conclusão deste trabalho, em particular:

Ao meu orientador Professor Doutor Vasco Rato, por toda a disponibilidade e atenção requerida bem como pela facultação de material de estudo, apoio na solução dos problemas encontrados e ajuda na revisão do trabalho escrito.

À minha família e namorada por todo o apoio e compreensão ao longo desta caminhada.

Ao DEC, Biblioteca da FCT e Biblioteca Municipal de Cascais – S. Domingos de Rana pela cedência das instalações e pela prestabilidade dos seus funcionários.

À empresa Construções Micet, Lda. pelo fornecimento do projecto e acesso à fracção autónoma em estudo.

E por fim, a todos os meus amigos pelo apoio psicológico e amizade demonstrada neste percurso.

Bem haja!

COMPATIBILIZAÇÃO DE EXIGÊNCIAS RELATIVAS A ILUMINAÇÃO E GANHOS SOLARES EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Resumo

A presente dissertação visa a obtenção de uma análise quantitativa e qualitativa das condições de iluminação natural em edifícios de habitação. Para uma análise completa é necessário primeiro compreender as propriedades e implicações da iluminação e dos ganhos solares no projecto dos edifícios.

A quantificação dos níveis de iluminância foi elaborada através do uso do programa Desktop Radiance. Após a modelação do edifício a ser estudado, este programa permite simular as condições de cálculo adequadas emitindo resultados tanto a nível do Factor de Luz do Dia como a nível de imagens representativas dos níveis de iluminância.

Foi realizado um caso de estudo de modo a averiguar a adequabilidade do programa, bem como a qualidade dos resultados obtidos. A partir destes é possível ver a influência que diversos factores como as obstruções de horizonte, verticais e horizontais, a reflectância dos materiais, a posição da abertura, entre outros têm na qualidade e quantidade de iluminação natural no interior do edifício.

Por fim, é importante referir que esta análise pode ser aplicada quer numa fase de projecto servindo de ferramenta para as tomadas de decisão mais apropriadas por parte do projectista, quer numa intervenção de reabilitação permitindo melhorar o conforto visual dos ocupantes e mitigar eventuais anomalias decorrentes do mau desempenho das aberturas (por exemplo sobreaquecimento do espaço).

Palavras-chave:

Iluminação Natural

Clima

Factor de Luz do Dia

Ganhos Solares

Desktop Radiance

COMPATIBILIZATION OF LIGHTING AND SOLAR EARNINGS DEMANDS FOR HOUSE BUILDINGS

Abstract

The present dissertation aims for the achievement of qualitative and quantitative daylight analysis conditions in house buildings. For a complete analysis it's early necessary a complete understanding of lighting properties and implications of solar gainings in building design.

The quantification of the illuminance levels was elaborated through the use of Desktop Radiance program. After modeling the study case building, this program allows the simulation of the appropriate calculation conditions giving out results either relative to the Daylight Factor either illuminance levels representative pictures.

The study case was accomplished to investigate the program suitability, as well as the quality of the results. Starting from these, it's possible to check the influence of several factors such as the horizon, overhang and vertical obstructions, the materials reflectance, opening location, among others have on the quality and quantity of daylight in the building's interior.

Finally, it's important to refer that this analysis can be applied in design phase serving as tool for the designer's most appropriate decisions, as well as in a rehabilitation intervention enabling the improve of the occupiers' visual comfort and to mitigate eventual current anomalies of the opening's poor performance (for instance room overheating).

Key-words:

Natural Daylight

Climate

Daylight Factor

Solar Gainings

Desktop Radiance

ÍNDICE DO TEXTO

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Âmbito e objectivos	1
1.3. Estrutura da dissertação	2
 Capítulo 2 – Conceitos Fundamentais	 3
2.1. Luz	3
2.2. Cor	6
2.3. Visão	7
2.4. Grandezas Fundamentais de Iluminação	9
 Capítulo 3 – Aspectos Climáticos	 11
3.1. Fontes de Luz Natural	11
3.2. Características da Luz Solar	11
3.3. Características da Luz do Céu Difusa	16
3.4. Influências Ambientais	18
3.5. Geometria de Insolação	19
3.5.1. Geometria Sol-Terra	19
3.5.2. Sistema de Coordenadas Solares	21
3.5.3. Cartas Solares	22
 Capítulo 4 – O Conforto Visual nos Edifícios	 27
4.1. Encadeamento	27
4.2. Níveis de Iluminação Adequada	30
 Capítulo 5 – A Iluminação Natural nos Edifícios	 33
5.1. Considerações Gerais	33
5.2. Sistemas de Iluminação	35
5.3. Aberturas	36
5.3.1. Iluminação Lateral	38
5.3.2. Iluminação Superior	39
5.3.3. Efeito da Localização da Abertura	39
5.3.4. Efeito da Inclinação e da Orientação	40
5.3.5. Efeito da Constituição da Abertura	41

5.3.5.1. Elementos Transparentes	41
5.3.5.2. Obstruções Estruturais	43
5.4. Efeito do Interior	43
5.5. Quantificação da Iluminação Natural	44
5.5.1. Factor de Luz do Dia	45
5.5.2. Uniformidade no Espaço	46
5.6. Projecto de Iluminação Natural	49
5.6.1. Componentes do projecto	49
5.6.2. Projectando a Iluminância	51
5.7. Cálculo de Áreas de Janelas	55
5.7.1. Método Generativo (para iluminação lateral)	55
5.7.2. Método da Eficiência (para iluminação superior)	62
Capítulo 6 – Impactes Energéticos	66
6.1. Eficiência Energética	67
6.2. Protecção térmica dos vãos envidraçados	68
Capítulo 7 – Estudo de Caso	70
7.1. Fracção autónoma em estudo	70
7.2. Modelação da Fracção Autónoma	72
7.3. Simulações da Fracção Autónoma	76
7.3.1. Cozinha	76
7.3.2. Sala	78
7.3.3. Quarto 1	80
7.3.4. Quarto 2	81
7.3.5. Suite	82
7.4. Solução Apresentada	84
7.4.1. Cálculo de Áreas de Janelas	84
7.4.2. Modelação e Simulação	84
7.5. Ganhos Solares	86
Capítulo 8 – Conclusões	90
Referências Bibliográficas	93

Anexo I – Panorâmica Solar para a Latitude de Lisboa

Anexo II – Cartas Solares

Anexo III – Método Generativo

Anexo IV – Factor Solar de Alguns Tipos de Vidro

Anexo V – Mapa de Radiação na Europa e em Portugal

Anexo VI – Fotografias

Anexo VII – Alçados, cortes e plantas do edifício em estudo

Anexo VIII – Reflectância de alguns materiais

Anexo IX – Valores recomendados

Anexo X – Distribuição de Factor de Luz do Dia

Anexo XI – Representação da iluminância em *false color*

Anexo XII – Demonstração do cálculo da área de janela para a sala

Anexo XIII – Representação dos modelos para a solução apresentada

Anexo XIV – Distribuição de Factor de Luz do Dia (solução apresentada)

Anexo XV – Representação da iluminância em *false color* para a solução apresentada

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2 – Conceitos Fundamentais

Figura 2.1 – Espectro visível	4
Figura 2.2 – Sensibilidade do olho	6
Figura 2.3 – Partes do olho	8

Capítulo 3 – Aspectos Climáticos

Figura 3.1 – Valores de iluminação total (céu + Sol) em fachadas desobstruídas com orientação Nascente em Lisboa	12
Figura 3.2 – Valores de iluminação total (céu + Sol) em fachadas desobstruídas com orientações Poente e Norte em Lisboa	13
Figura 3.3 – Valores de iluminação total (céu + Sol) em fachadas desobstruídas com orientação Sul em Lisboa	14
Figura 3.4 – Distribuição da luminância	17
Figura 3.5 – O efeito de uma obstrução em iluminação natural	18
Figura 3.6 – Dimensões de uma obstrução	19
Figura 3.7 – Geometria Sol – Terra	20
Figura 3.8 – Variação da inclinação do eixo da terra	20
Figura 3.9 – Sistemas de Coordenadas Solares	21
Figura 3.10 – Carta Solar (latitude 48°, hemisfério Norte)	23
Figura 3.11 – Carta Solar para Portugal Continental, Latitude entre 38° e 39°	24
Figura 3.12 – Carta Solar para Lisboa (a zona tracejada corresponde aos dias e horas de penetração solar inconveniente)	25

Capítulo 4 – O Conforto Visual nos Edifícios

Figura 4.1 – Aumento da aresta interior	30
---	----

Capítulo 5 – A Iluminação Natural nos Edifícios

Figura 5.1 – Dimensões de uma janela vertical e de tecto	36
Figura 5.2 – Materiais transparentes e translúcidos	37
Figura 5.3 – Eficiência das aberturas	37
Figura 5.4 – Efeito da orientação e inclinação	40
Figura 5.5 – Transmitância do vidro para componentes da luz difusa	42
Figura 5.6 – Iluminância interna e externa	45
Figura 5.7 – Efeito da posição da janela na distribuição de iluminância	48
Figura 5.8 – Distribuição de iluminância em janelas contínuas e divididas	48

Figura 5.9 – Ligação entre iluminância do interior e a duração no tempo	52
Figura 5.10 – Símbolos usados pelo método generativo	56
Figura 5.11 – Simbologia usada para a divisão	62
Figura 5.12 – Simbologia usada para a luz superior	63

Capítulo 6 – Impactes Energéticos

Figura 6.1 – O aumento de áreas envidraçadas nas fachadas de edifícios residenciais nas décadas passadas (Lisboa)	68
---	----

Capítulo 7 – Estudo de Caso

Figura 7.1 – Localização do edifício	70
Figura 7.2 – Empena exterior cega	71
Figura 7.3 – Planto do piso 4	72
Figura 7.4 – Posição (em planta) das câmaras e da malha de pontos	74
Figura 7.5 – Modelo da cozinha	76
Figura 7.6 – Representação da iluminância da cozinha em <i>false color</i>	78
Figura 7.7 – Modelo da sala	79
Figura 7.8 – Representação da iluminância da sala em <i>false color</i>	79
Figura 7.9 – Modelo do quarto 1	80
Figura 7.10 – Representação da iluminância do quarto 1 em <i>false color</i>	80
Figura 7.11 – Modelo do quarto 2	81
Figura 7.12 – Representação da iluminância do quarto 2 em <i>false color</i>	82
Figura 7.13 – Modelo da suite	82
Figura 7.14 – Representação da iluminância da suite em <i>false color</i>	83
Figura 7.15 – Cálculo dos ganhos solares brutos totais	87

Anexo I

Figura I.1 - Panorâmica Solar para a Latitude de Lisboa (Silva et al, 2007)	A.1
---	-----

Anexo II

Figura II.1 - Carta Solar para Portugal Continental, Latitude entre 38° e 39° (Cunha, 2005)	A.2
Figura II.2 - Carta Solar para Portugal Continental, Latitude entre 38° e 39° (Cunha, 2005)	A.3
Figura II.3 - Carta Solar para Portugal Continental, Latitude entre 38° e 39° (Cunha, 2005)	A.4

Figura II.4 - Carta Solar para Portugal Continental, Latitude entre 38° e 39° (Cunha, 2005)	A.5
--	-----

Anexo V

Figura V.1 – Mapa de Radiação Solar na Europa (http://www.energiasrenovaveis.com)	A.13
Figura V.2 – Mapa de Radiação Solar em Portugal (http://www.energiasrenovaveis.com)	A.14

Anexo VI

Figura VI.1 – Fotografias da cozinha	A.15
Figura VI.2 – Fotografias da sala	A.15
Figura VI.3 – Fotografias do quarto 1	A.16
Figura VI.4 – Fotografias do quarto 2	A.16
Figura VI.5 – Fotografias da suite	A.17
Figura VI.6 – Fotografias do edifício	A.18

Anexo VII

Figura VII.1 – Alçado Sul e Alçado Posterior	A.19
Figura VII.2 – Alçado Principal e Alçado Lateral Esquerdo	A.20
Figura VII.3 – Corte A-B e Corte C-D	A.21
Figura VII.4 – Planta de Implantação e Planta do piso -2	A.22
Figura VII.5 – Planta do piso -1 e Planta do piso 0	A.23
Figura VII.6 – Planta do piso 1,2,3,4 e Planta do sótão	A.24
Figura VII.7 – Planta da cobertura	A.25

Anexo VIII

Figura VIII.1 a) – Reflectância de alguns materiais (Coutinho, 2009)	A.26
Figura VIII.1 b) – Reflectância de alguns materiais (Coutinho, 2009)	A.27

Anexo XI

Figura XI.1 – Representação da iluminância em <i>false color</i> - Cozinha - 21 de Março	A.30
Figura XI.2 – Representação da iluminância em <i>false color</i> - Cozinha - 21 de Junho	A.31
Figura XI.3 – Representação da iluminância em <i>false color</i> - Cozinha - 21 de Dezembro	A.32

Figura XI.4 – Representação da iluminância em <i>false color</i> - Sala - 21 de Março	A.33
Figura XI.5 – Representação da iluminância em <i>false color</i> - Sala - 21 de Junho	A.34
Figura XI.6 – Representação da iluminância em <i>false color</i> - Sala - 21 de Dezembro	A.35
Figura XI.7 – Representação da iluminância em <i>false color</i> - Quarto 1 - 21 de Março	A.36
Figura XI.8 – Representação da iluminância em <i>false color</i> - Quarto 1 - 21 de Junho	A.37
Figura XI.9 – Representação da iluminância em <i>false color</i> - Quarto 1 - 21 de Dezembro	A.38
Figura XI.10 – Representação da iluminância em <i>false color</i> - Quarto 2 - 21 de Março	A.39
Figura XI.11 – Representação da iluminância em <i>false color</i> - Quarto 2 - 21 de Junho	A.40
Figura XI.12 – Representação da iluminância em <i>false color</i> - Quarto 2 - 21 de Dezembro	A.41
Figura XI.13 – Representação da iluminância em <i>false color</i> - Suite - 21 de Março	A.42
Figura XI.14 – Representação da iluminância em <i>false color</i> - Suite - 21 de Junho	A.43
Figura XI.15 – Representação da iluminância em <i>false color</i> - Suite - 21 de Dezembro	A.44

Anexo XIII

Figura XIII.1 – Representação dos modelos para a solução apresentada	A.46
Figura XIII.2 – Representação dos modelos para a solução apresentada – Cozinha, Sala, Quarto 1	A.47
Figura XIII.3 – Representação dos modelos para a solução apresentada – Quarto 2 e Suite	A.48

Anexo XV

Figura XV.1 – Representação da iluminância em <i>false color</i> para a solução apresentada - Cozinha	A.50
Figura XV.2 – Representação da iluminância em <i>false color</i> para a solução apresentada – Sala	A.51
Figura XV.3 – Representação da iluminância em <i>false color</i> para a solução apresentada – Quarto 1	A.52
Figura XV.4 – Representação da iluminância em <i>false color</i> para a solução apresentada – Quarto 2	A.53
Figura XV.5 – Representação da iluminância em <i>false color</i> para a solução apresentada – Suite	A.54

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo 2 – Conceitos Fundamentais

Tabela 2.1 – Intervalo de comprimento de onda das diversas cores	5
--	---

Capítulo 4 – O Conforto Visual nos Edifícios

Tabela 4.1 – Gammas de iluminância por diferentes superfícies, tarefas ou actividades	31
Tabela 4.2 – Gammas de iluminância	32

Capítulo 5 – A Iluminação Natural nos Edifícios

Tabela 5.1 – Valores de τ_g, τ_f e τ_d	58
Tabela 5.2 – Valores de τ_g	63
Tabela 5.3 – Valores de τ_s	63
Tabela 5.4 – Valores de τ_d	64
Tabela 5.5 – Valores da eficiência da divisão	65

Capítulo 7 – Estudo de Caso

Tabela 7.1 – Cálculo dos ganhos solares brutos por envidraçado (aquecimento)	87
Tabela 7.2 – Cálculo dos ganhos solares brutos por envidraçado (arrefecimento)	88

Anexo IV

Tabela IV.1 - Factor Solar de Alguns Tipos de Vidro (RCCTE)	A.12
---	------

Anexo XII

Tabela XII.1 – Dfo x Ka (valores retirados do anexo III)	A.45
--	------

ÍNDICE DE QUADROS

Capítulo 3 – Aspectos Climáticos

Quadro 3.1 – Valores médios da radiação global numa superfície horizontal (directa + difusa) e em superfícies verticais (directa + difusa + reflectida pelo pavimento) diferentemente orientadas em Lisboa (Wh/m ² .dia)	16
---	----

Capítulo 5 – A Iluminação Natural nos Edifícios

Quadro 5.1 – Fracção envidraçada para diferentes tipos de caixilharia	43
---	----

Capítulo 7 – Estudo de Caso

Quadro 7.1 – Características físicas e valores de reflectância dos materiais	75
Quadro 7.2 - Características físicas e valores de transmitância dos elementos transparentes	75
Quadro 7.3 – Áreas de janelas	84
Quadro 7.4 – Cálculo da área efectiva (aquecimento)	86
Quadro 7.5 – Cálculo da área efectiva (arrefecimento)	88

Anexo IX

Quadro IX.1 – Factores de Luz-do-Dia recomendados em habitação (Mendonça, 2005)	A.28
Quadro IX.2 – Valores de iluminância recomendados em habitação (Mendonça, 2005)	A.28

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Capítulo 5 – A Iluminação Natural nos Edifícios

Gráfico 5.1 – Factor de Correção para Reflectâncias Internas	57
Gráfico 5.2 – Valores de c	59
Gráfico 5.3 – Construção da curva $FLDo \times Ka = f(A)$	61
Gráfico 5.4 – Determinação da área relativa A_{wR}	61
Gráfico 5.5 – Determinação da eficiência do vão	64

Capítulo 7 – Estudo de Caso

Gráfico 7.1 – Distribuição de iluminância – eixo 1	77
Gráfico 7.2 – Distribuição de iluminância – eixo 2	77
Gráfico 7.3 – Distribuição de iluminância – eixo 1 (solução apresentada)	85
Gráfico 7.4 – Distribuição de iluminância – eixo 2 (solução apresentada)	85

Anexo III

Gráfico III.1 – Valores de K_e para divisões com diferentes alturas (Majoros, 1998)	A.6
Gráfico III.2 – Valores de $K_{\gamma 1}$ e $K_{\gamma 0}$ e para divisões com diferentes larguras (a) (Majoros, 1998)	A.7
Gráfico III.3 – Valores de $FLDo$ e Ka (Majoros, 1998)	A.8
Gráfico III.4 – Valores de $FLDo$ e Ka (Majoros, 1998)	A.10
Gráfico III.5 – Valores de $FLDo$ e Ka (Majoros, 1998)	A.11

Anexo X

Gráfico X.1 – Distribuição de FLD – eixo 1	A.29
Gráfico X.2 – Distribuição de FLD – eixo 2	A.29

Anexo XII

Gráfico XII.1 – $Df0 \times Ka$	A.45
---------------------------------	------

Anexo XII

Gráfico XIV.1 – Distribuição de FLD – eixo 1 (solução apresentada)	A.49
Gráfico XIV.2 – Distribuição de FLD – eixo 2 (solução apresentada)	A.49

Siglas e Abreviaturas

E – Energia do fóton

λ – Comprimento de onda

Φ – Fluxo luminoso

lm – lúmen

V_L – Coeficiente de eficácia luminosa espectral

I_L – Intensidade Luminosa

cd – Candela

E_L – Iluminância

lx – Lux

L – Luminância

C – Contraste

ρ – Reflectância

E_e – Iluminância de uma superfície horizontal desobstruída

a – Azimute

h – Altura solar

d – Declinação

K – Eficácia luminosa

δ – Ângulo da janela (entre a superfície transparente e o plano horizontal)

α – Orientação da abertura (ângulo entre a superfície normal à superfície transparente e o Norte (medido no sentido dos ponteiros do relógio))

η_0 – Eficiência da abertura

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

INC – Ângulo de incidência da luz

ζ_{diff} – Transmitância para luz difusa

ρ_0 – Reflectância do solo

ρ_c – Reflectância do tecto

ρ_w – Reflectância da parede

ρ_f – Reflectância do pavimento

E_i – Iluminância de um dado ponto da superfície do interior

FLD/ DF – Factor de luz do dia / Daylight factor

FLD_{av} – Valor médio de factor de luz do dia

FLD_{min} – Valor mínimo de factor de luz do dia

FLD_R – Factor de luz do dia requerido

Ψ – Uniformidade da iluminação no espaço

E_R – Iluminância média

E_{eD} – Iluminância exterior de projecto

S_{wR} – Área da janela requerido

K_p – Factor de correcção para reflectâncias internas

K_τ – Factor de correcção para a estrutura da janela

τ_f – Factor de correcção para a caixilharia

τ_d – Factor de correcção para o encadeamento

τ_a – Factor de correcção para o efeito de sujidade

K_o – Factor de correcção para a obstrução

K_a – Factor de correcção para a posição da janela

A – Área relativa da janela

A_{wR} – Tamanho relativo requerido da janela

FA – Fracção Autónoma

SSW – Orientação sul-sudoeste

NNE – Orientação norte-nordeste

ESE – Orientação este-sudeste

WNW – Orientação oeste-noroeste

3D – Tridimensional

CIE – Commission Internationale de L'Eclairage

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Enquadramento

Actualmente a luz natural parece ser indispensável no interior dos edifícios mas nem sempre foi assim. Na primeira metade do século passado houve uma tendência em diminuir as aberturas dos edifícios pois existia a consciência de que com o desenvolvimento da luz artificial, a luz natural seria dispensável.

A partir dos anos 80, em parte devido aos progressos tecnológicos a nível de materiais, marcou o início de uma nova conscientização. Desde o interesse pelas questões ambientais que têm sido desenvolvidos projectos de iluminação, tendo como pressupostos fundamentais a funcionalidade, o conforto dos ocupantes e a utilização racional da energia.

O projecto de iluminação deverá tomar em consideração as características climáticas prevalentes no País, a influência do efeito de sistemas de sombreamento e dos sistemas de controlo da iluminação artificial, bem como a atitude dos ocupantes para com esses sistemas. Só assim é possível tirar os proveitos da luz natural pois quando mal aproveitada pode originar encadeamento, desconforto térmico e consumo acrescido de energia.

Neste sentido, existem softwares de simulação que facilitam a tarefa do projectista em tomar decisões de modo a conseguir implementar estratégias de iluminação natural adequadas.

1.2 Âmbito e objectivos

Esta dissertação visa promover um equilíbrio entre as exigências qualitativas e quantitativas relativas a iluminação natural e os ganhos solares através da análise de ferramentas analíticas e computacionais.

Com este fim, foi analisado um caso de estudo de modo a avaliar a adequação do programa de simulação na prática de projecto.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação apresentada está organizada em oito capítulos sendo o actual capítulo a introdução do tema.

O capítulo 2 introduz as características físicas da luz, o seu comportamento e suas propriedades juntamente com as suas relações com a saúde do ser humano. São também apresentadas grandezas fundamentais de modo a uma correcta compreensão dos conceitos nomeados neste trabalho.

O capítulo 3 é relativo às características da iluminação natural e como esta está relacionada com o clima. Desde a geometria compreendida entre o Sol e a Terra, as estações do ano, à orientação solar são diversas as implicações de cada um destes aspectos na utilização da iluminação natural.

No capítulo 4 são indicadas as condicionantes das necessidades de iluminação interior nos edifícios. Valores de referência e limites normativos são apontados com o fim de promover uma iluminação adequada sem desconforto visual.

O capítulo 5 representa a avaliação analítica da iluminação natural dos edifícios. A influência dos tipos de iluminação e de aberturas assim como a quantificação de parâmetros que avaliam a iluminação natural são retratados culminando com um método de cálculo de áreas envidraçadas.

A vertente de sustentabilidade é representada no capítulo 6 onde são potenciadas as consequências energéticas.

O capítulo 7 é dedicado ao estudo de caso de uma fracção autónoma onde esta é simulada num modelo virtual sendo posteriormente discutidos os resultados obtidos.

Por fim, no capítulo 8 são apresentadas as conclusões finais.

Capítulo 2 – Conceitos Fundamentais

2.1 Luz

A luz tem estado sempre intuitivamente ligada ao bem-estar e à saúde. Os ambientes luminosos são considerados mais confortáveis e saudáveis que os escuros. A busca do Sol como lugar de descanso e férias tem estado sempre na mente dos povos nórdicos, muito castigados pela escassez de horas de luz no Inverno.

Sendo Portugal um país solarengo, podemos não ter consciência destes factos mas, está hoje perfeitamente comprovado que existe uma relação autêntica entre a luz e a saúde. Segundo o autor Gonzalez (2004), existem estudos recentes que ligam a depressão com trocas genéticas na composição química do organismo. Estas trocas envolvem, geralmente, um desequilíbrio nos neurotransmissores, em particular a serotonina, e é a luz, através da pupila, que estimula a sua produção. Caso a luz seja escassa durante muito tempo, essa regulação hormonal não é correcta e aumentam os casos de depressão. Em lugares como a Suécia, onde este fenómeno é conhecido e lamentavelmente frequente, os médicos receitam terapias de luz, que consiste em permanecer uma vez por semana várias horas numa habitação branca muito iluminada para receber directamente sobre a cara uma dose de luz suficiente para controlar a depressão.

Outro aspecto benéfico da luz natural está relacionado com os biorritmos do ser humano. Os nossos biorritmos estão ligados ao ritmo das horas, ao decorrer do dia, à noite e ao amanhecer. A serotonina regula o “relógio interno” do ser humano que funciona como um coordenador de todas as nossas funções a um determinado ritmo coincidente com um ciclo de 24 horas. Deste modo, determinam-se os nossos ciclos de sono. Todas as noites o nosso “relógio interno” ajusta a nossa fisiologia para o sono, sendo por este motivo que nos sentimos com sono e dormimos profundamente. Depois de um tempo, o nosso “relógio interno” ajusta de novo a nossa fisiologia para despertar, sentindo-nos descansados. Quando o nosso corpo se adapta de forma natural ao biorritmo, o cansaço e o stress é menor e a nossa recuperação mais rápida. Por isso, quando se trabalha debaixo de luz artificial de forma permanente, ao não apreciar o passar das horas, o nosso corpo não regula correctamente os seus biorritmos e fatiga-se de um modo mais intenso.

A luz é a parte da energia radiante que, produzindo um estímulo especial no olho, permite a visão dos objectos. Se uma parte da radiação nos aquece, a radiação infravermelha, outra serve-nos para enviar mensagens, ondas de rádio, televisão ou telefone, a parte correspondente a comprimentos de onda entre 380 nm e 780 nm manifesta-se em forma de luz (Gonzalez, 2004).

No espectro de radiações electromagnéticas, as radiações visíveis ao olho humano (luz) constituem uma pequena parte, tal como está demonstrado na figura seguinte.

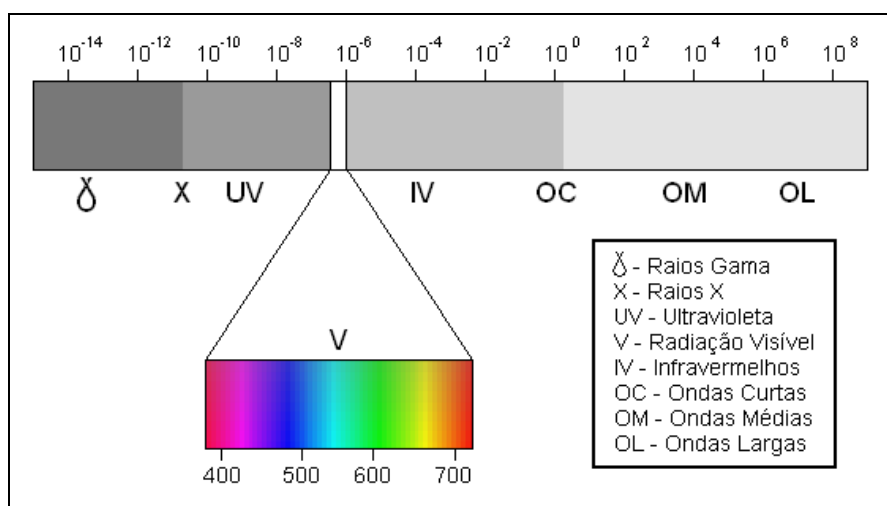


Figura 2.1 – Espectro visível (Bartolomeu, 2003)

Com o objectivo de poder explicar o seu comportamento, são atribuídas, à energia radiante, duas naturezas distintas e sobrepostas. Por um lado, uma natureza ondulatória que explica os fenómenos de reflexão e refacção; por outro, uma natureza corpuscular, pelo que se supõe que leva associados pequenos corpúsculos ou fótons, que explica fenómenos como o efeito fotovoltaico (Gonzalez, 2004).

Segundo o comprimento de onda com que nos chega, apreciamos a luz com cores distintas:

Tabela 2.1 – Intervalo de comprimento de onda das diversas cores

Cor	Comprimento de Onda (nm)
Violeta	380 – 435
Azul	435 – 495
Verde	495 – 566
Amarelo	566 – 589
Laranja	589 – 627
Vermelho	627 – 780

Os fotões associados a cada um desses comprimentos de onda transportam, igualmente, diferentes quantidades de energia, aproximadamente:

$$E = \frac{1,24 \cdot 10^3}{\lambda}$$

[eq. 2.1]

Em que λ é o comprimento de onda [nm] e E a energia do fotão [eV] (1 eV = $1,602 \cdot 10^{-19}$ J).

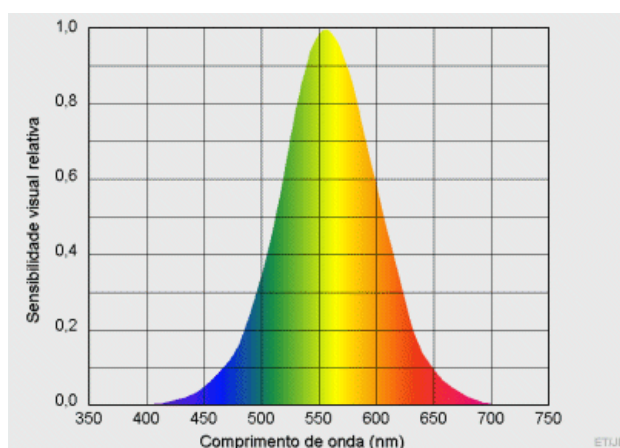
Além das cores, a direcção da luz é um factor com consequências significativas para a iluminação natural. Ao existirem objectos interpostos na direcção da luz são criadas sombras que nos ajudam a reconhecer a disposição espacial dos objectos e a qualidade tridimensional das superfícies (Majoros, 1998).

O efeito de sombra da iluminação natural depende do tipo de iluminação e da reflexão nas superfícies interiores. Na iluminação lateral, o efeito da sombra é necessariamente grande visto a iluminação ser unidireccional. Este aspecto é praticamente impossível de modificar, assim sendo o problema das sombras pode apenas ser resolvido admitindo luz de diversas direcções.

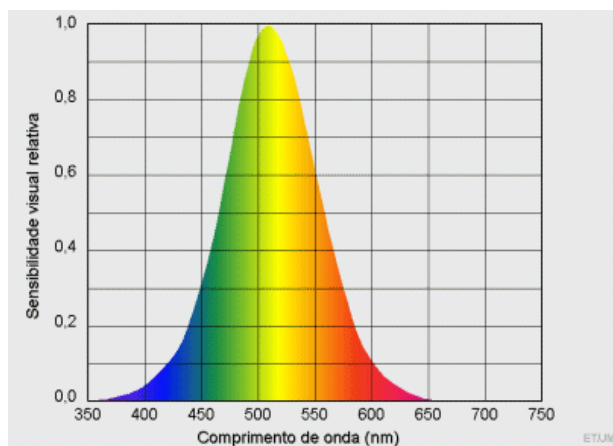
2.2 Cor

Uma cor caracteriza-se por ser um conjunto de radiações compreendidas num determinado intervalo de comprimentos de onda. Por isso, cada cor ocupa uma certa zona do espectro visível (tabela 2.1).

A partir do próximo gráfico conclui-se que a sensibilidade dos olhos varia com cada cor e é máxima à radiação amarelo/verde que se situa no centro do espectro da luz visível.



a) Olho adaptado ao claro.



b) Olho adaptado ao escuro.

Figura 2.2 – Sensibilidade do olho (<http://www.prof2000.pt/users/eta/Iluminacao.htm>)

Pode-se também verificar que nos extremos do espectro (cores violeta e vermelho) a sensibilidade diminui. Assim, caso uma fonte luminosa emita apenas luz

amarelo/verde cria uma impressão de grande claridade mas os objectos parecem-nos todos amarelos/esverdeados e é impossível reconhecer as cores. As cores dos objectos podem ser melhor observadas à luz natural por existirem, na luz solar, radiações correspondentes a todas as cores. Por exemplo, a cor de um objecto resulta do facto de a sua superfície reflectir a radiação inserida no comprimento de onda relativa a essa cor e absorver a radiação correspondente a outras cores.

As cores podem ser classificadas como sendo quentes, frias ou neutras. As cores quentes como o vermelho, laranja e amarelo, têm um efeito psicológico criando estimulação. Por outro lado, as cores frias (azul, verde, violeta) têm uma tendência a provocar uma sensação relaxante. Cores como o branco ou o cinzento são as chamadas cores neutras pelo que não despertam um efeito significativo.

2.3 Visão

A visão humana é um sistema complexo assegurado por três operações principais que, realizadas em conjunto, permitem ao olho transformar luz em impulsos electroquímicos enviados ao cérebro através do nervo óptico. A operação óptica recepciona a energia luminosa e encaminha-a para a retina. A operação sensorial transforma a imagem luminosa projectada na retina em impulsos electroquímicos. A operação motora permite dirigir e fixar o olhar sobre um ponto específico (Bartolomeu, 2003).

O olho é o órgão encarregue do sentido da vista. O seu completo funcionamento pode ser equiparado ao de uma câmara fotográfica em que o obturador é a íris que, abrindo mais ou menos, deixa passar quantidades de luz variáveis segundo a luminosidade exterior. Do outro lado da íris está o cristalino, que representa a lente, e é lá que se dão a maioria dos defeitos visuais habituais (diversos tipos de deformação - miopia, hipermetropia ou estigmatismo); este órgão, ao modificar a sua forma, funciona como a distância focal das câmaras fotográficas. Ao fundo, equiparada ao sensor digital, está a retina, onde se produz a imagem visual. Esta imagem deve transmitir-se ao cérebro através do nervo óptico onde, finalmente, interpretar-se-á como uma imagem conhecida.

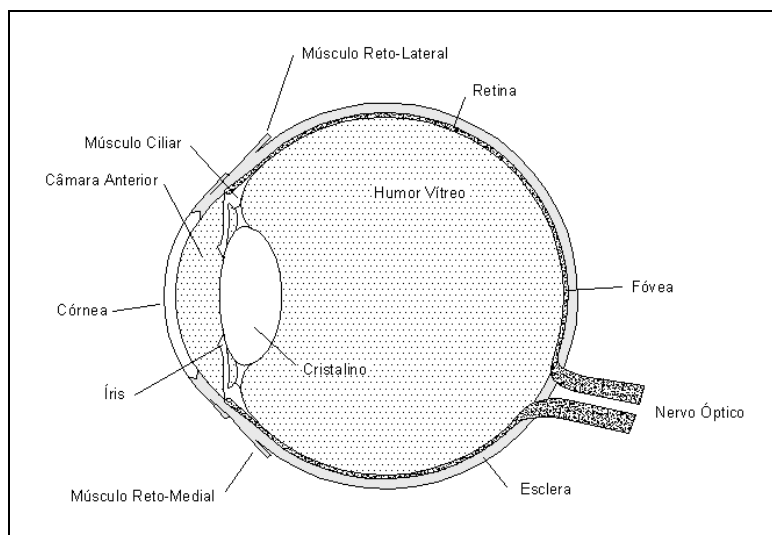


Figura 2.3 – Partes do olho (Bartolomeu, 2003)

A parte mais sensível da retina encontra-se no centro, é a fóvea ou mancha amarela. Nesta encontram-se maioritariamente um tipo de células chamadas cones. Estas células estão altamente especializadas, e são capazes de reagir de forma diferente entre os distintos comprimentos de onda, reconhecendo as cores. Por outro lado, têm como inconveniente necessitarem de quantidades significativas de luz para iniciar o processo de estimulação. Nas zonas periféricas da retina o que predomina são os bastonetes, um segundo tipo de células, incapazes de distinguir as cores, mas capazes de distinguir as formas com o estímulo de um só fóton. A visão que se estabelece mediante os cones denomina-se visão fotópica e a que se realiza com os bastonetes visão escotópica.

A energia luminosa não deixa de ser uma forma de energia e, portanto, deve quantificar-se com as mesmas unidades que qualquer outra. Não obstante, essa energia deve estimular o sentido da vista e converter-se numa sensação. Os nossos sentidos não reagem de uma forma linear a todos os estímulos e o da vista não é uma excepção. Para ter em conta esta singularidade será necessário criar magnitudes e unidades específicas para quantificar a luz na função da apreciação que somos capazes de fazer da energia luminosa. As mais significativas são o fluxo luminoso, a intensidade luminosa, a iluminância e a luminância (Gonzalez, 2004).

2.4 Grandezas Fundamentais de Iluminação

Fluxo Luminoso (Φ)

Apesar de tratar-se de um fluxo radiante e, portanto, um fluxo energético que devia quantificar-se em watts, o olho não é de igual sensibilidade ao fluxo radiante que chega a cada um dos possíveis comprimentos de onda. A resultante de aplicar os coeficientes correctores que medem a diferente sensibilidade do olho a diferentes comprimentos de onda dá lugar ao denominado fluxo luminoso, que se quantificará em lúmen (lm). Para quantificar a quantidade de lúmen associada a um fluxo radiante há que multiplicar a potência em watts pelo coeficiente de eficácia luminosa espectral (V_L), de cada um dos comprimentos de onda. O somatório de todas elas multiplica-se por 680, que é a quantidade de lúmen que há num watt a 555 nm, comprimento de onda para o qual se alcança a máxima sensibilidade e que é, portanto, a eficácia luminosa espectral máxima.

Intensidade Luminosa (I_L)

Corresponde ao conceito de intensidade radiante e mede o fluxo radiante luminoso que se propaga através de um ângulo sólido. Portanto, é o número de watts por esferorradiano que, aplicado a um fluxo luminoso, dá lúmen por esferorradiano, também denominado por candela (cd).

Iluminância (E_L)

A iluminância corresponde à irradiância, quer dizer, é o fluxo luminoso recebido ou emitido por unidade de superfície. Se a irradiância mede-se em W/m^2 , a intensidade luminosa mede-se em lm/m^2 , também denominado por lux (lx). As iluminâncias ou níveis de iluminação dos ambientes em que nos movemos, e as que devem adaptar-se ao olho, são muito variadas, desde menos de um lux numa noite de lua, até 10 000 lux num dia de céu encoberto ou 100 000 lux num dia de céu limpo de Verão.

Luminância (L)

Corresponde ao conceito de radiância e é a intensidade luminosa recebida por unidade de superfície, medida em candela por metro quadrado (cd/m^2). Trata-se de um conceito muito importante, que permite perceber os objectos graças a um contraste de luminâncias entre eles. Por outro lado, o excesso de contrastes ou, simplesmente, uma luminância excessiva pode provocar encadeamento.

Contraste (C)

É a relação entre a luminância do objecto e a luminância do plano de fundo. Pode ser calculado através da equação (2.2).

$$C = \frac{L_{objecto} - L_{Fundo}}{L_{Fundo}}$$

[eq. 2.2]

Reflectância (ρ)

É um factor que expressa a relação entre a energia radiante incidente numa dada superfície e a energia radiante reflectida por essa superfície.

$$\rho = \frac{Iluminância_{reflectida}}{Iluminância_{incidente}} (\%)$$

[eq. 2.3]

Capítulo 3 – Aspectos Climáticos

3.1 Fontes de Luz Natural

Existem duas fontes de luz natural, a luz do céu e a luz do Sol. A luz do céu caracteriza-se por, num ponto não obstruído, provir de todo o hemisfério celeste, originando uma iluminação difusa. Por outro lado, a luz do Sol provém directamente deste originando uma iluminação directa com iluminâncias muito superiores à luz do céu (Carvalho, 1987).

A quantidade de luz natural que provém da reflexão de superfícies (pavimentos, fachadas de edifícios, etc.) representa um factor relevante pois, especialmente em áreas muito urbanizadas, existem casos onde a radiação solar não atinge directamente alguns edifícios.

Para efeitos de iluminação difusa, é comum a consideração de três tipos de céu: céu encoberto, céu limpo e céu ligeiramente encoberto (Carvalho, 1987). No caso de céu limpo existe uma grande variação de luminâncias em azimuth, ou seja, estas são mais elevadas com a proximidade à direcção da radiação solar. Relativamente ao céu encoberto verifica-se que não há assimetrias de luminância em azimuth, isto é, as condições de iluminação não dependem da orientação dos envidraçados. No entanto, segundo o autor Carvalho (1987) existe grande variação de luminâncias em altura (luminância no zénite cerca de 3x superior que no horizonte). Por último, o céu parcialmente encoberto corresponde a uma situação intermédia entre o céu encoberto e o céu limpo.

3.2 Características da Luz Solar

A iluminação natural tem um carácter dinâmico sendo os principais factores a nebulosidade (obstrução pelas nuvens) e o movimento aparente do Sol. Este carácter dinâmico tem um efeito interessante sobre o ambiente interior. A aparência dos espaços é decisivamente condicionada pela iluminação, sendo a presença da iluminação natural potencialmente uma fonte de mudança e diversidade (Carvalho, 1985).

O maior problema da luz solar directa consiste no facto de esta apenas iluminar uma parte do compartimento causando um contraste elevado entre a zona iluminada e a não iluminada, podendo provocar encadeamento.

De modo a evitar este problema, principalmente para a execução de tarefas visuais continuadas, é vantajoso uniformizar a iluminação, por exemplo utilizando dispositivos reguláveis para difusão da luz das janelas (possibilidade de escolha da condição mais conveniente).

A orientação das aberturas tem grande influência na iluminação natural. Este tipo de efeito só pode ser estudado com o céu limpo, pois com o céu encoberto não existem grandes variações da luminância em azimuth. Num dia de céu limpo a iluminação incidente numa fachada, devida à luz do Sol, é várias vezes superior à que provém do céu. A iluminação proporcionada por uma janela é a que resulta da difusão da luz total que nela incide: luz do Sol, do céu e luz reflectida por diversas superfícies.

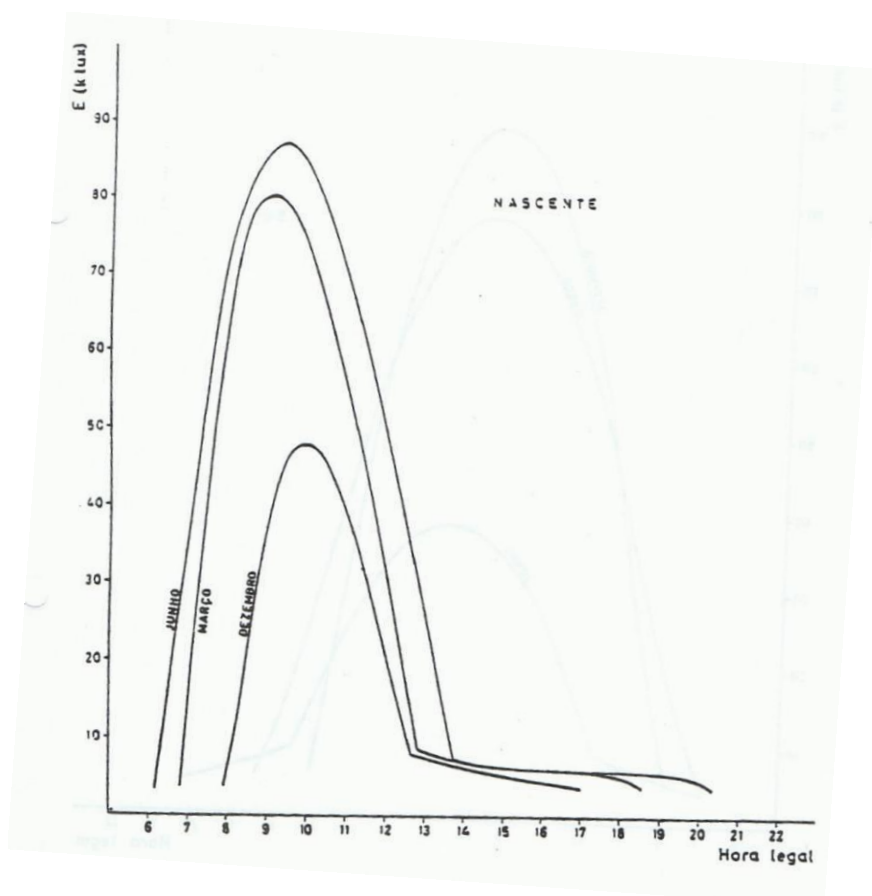


Figura 3.1 – Valores de iluminação total (céu + Sol) em fachadas desobstruídas com orientação Nascente em Lisboa (Carvalho, 1985).

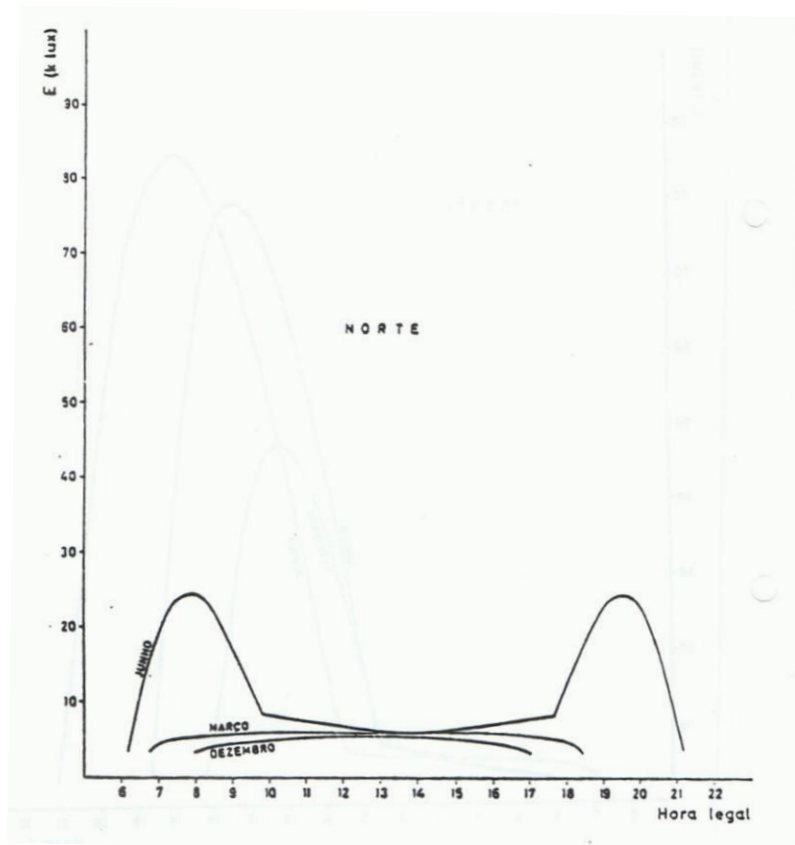
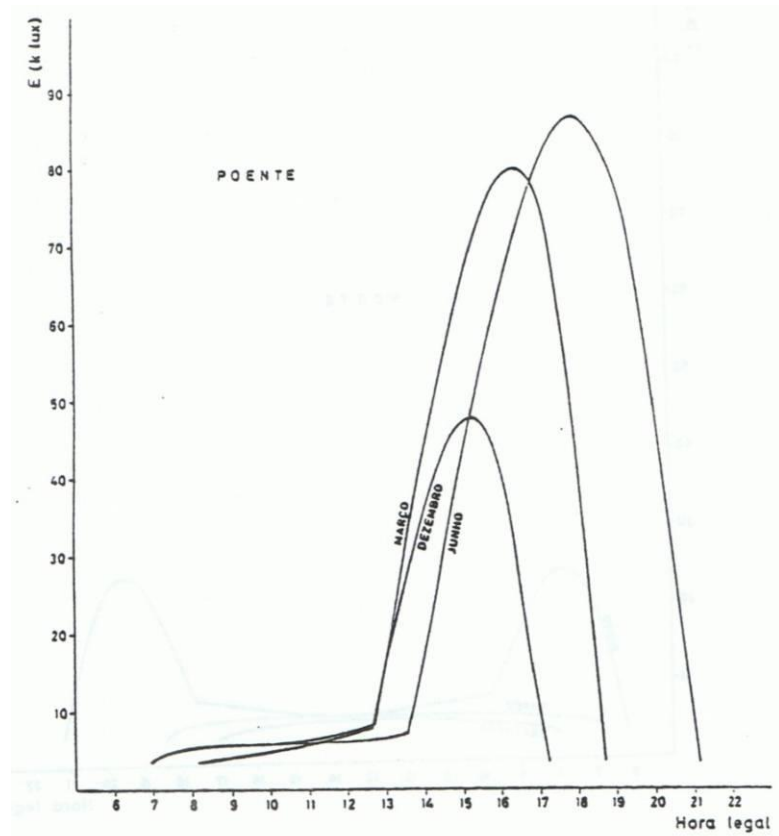


Figura 3.2 – Valores de iluminação total (céu + Sol) em fachadas desobstruídas com orientações Poente e Norte em Lisboa (Carvalho, 1985).

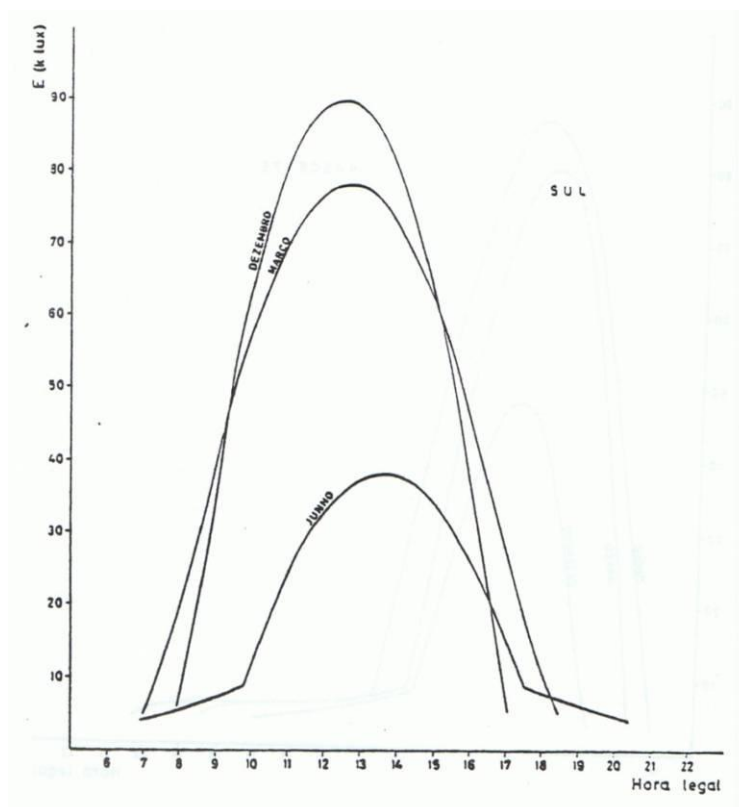


Figura 3.3 – Valores de iluminação total (célula + Sol) em fachadas desobstruídas com orientação Sul em Lisboa (Carvalho, 1985).

A partir da figura acima verifica-se que estando o céu limpo, os valores da iluminação dependem significativamente da altura do Sol e da sua posição em relação às janelas. Pode-se constatar que os gráficos correspondentes às orientações Nascente e Poente têm comportamentos semelhantes. Nos meses de Março e Junho, o valor da iluminação é mais elevado que em Dezembro devido à componente da luz do Sol (Dezembro corresponde uma altura solar menor).

Em relação à orientação Sul o mesmo não se verifica. O mês de Junho é o que tem um valor de iluminação mais baixo precisamente por coincidir com a época do ano em que a altura solar é maior.

Pela figura relativa à orientação Norte, observa-se que no mês de Junho existem dois picos no valor de iluminação, um de manhã entre as 6h e as 9h e outro à tarde entre as 18h e as 21h. Penso que este facto aconteça devido à incidência directa de luz do Sol nestes períodos.

Existem diversos modos de uniformizar a iluminação proveniente das janelas, entre eles o uso de dispositivos difusores de luz como por exemplo os estores ou cortinados, o aumento das reflectâncias das superfícies interiores, o uso criterioso de palas e o complemento por luz artificial são os mais comuns.

No que diz respeito à orientação dos envidraçados, assume-se que no Inverno existe uma desproporção muito grande entre o valor médio diário da radiação incidente em fachadas a Sul e em fachadas a Norte, sendo Sul a orientação que mais beneficia dos ganhos solares em Janeiro e Norte a que menos beneficia.

No Verão a desproporção acima assinalada não se mantém. Norte continua a ser a orientação que menor valor médio de radiação recebe, tornando-se agora, com tempo quente, a mais favorável. As fachadas Sul deixam de ser as mais expostas e tornam-se, pelo contrário, as que apresentam menor valor médio da radiação incidente.

As orientações Este e Oeste apresentam valores baixos de radiação incidente em Janeiro e altos em Julho, o contrário do desejável.

A orientação Sul é a mais favorável pois apresenta boas condições quer no Inverno quer no Verão. Uma rotação de 45° para Este ou Oeste prejudica consideravelmente estas boas condições, sendo estas orientações particularmente desfavoráveis no Verão (Carvalho, 1985).

Por fim, as superfícies horizontais apresentam condições mais desfavoráveis que qualquer superfície vertical. É assim de evitar o uso de superfícies envidraçadas horizontais de área elevada.

Quadro 3.1 – Valores médios da radiação global numa superfície horizontal (directa + difusa) e em superfícies verticais (directa + difusa + reflectida pelo pavimento) diferentemente orientadas em Lisboa (Wh/m².dia) (Carvalho, 1985)

	SUPERFÍCIE HORIZONTAL	SUPERFÍCIES VERTICAIS									
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	
JANEIRO	2000	450	540	1300	2500	3100	2400	1300	530	450	
JULHO	7400	1900	2900	3700	3400	2500	3700	4200	3200	1900	

(Valores adaptados de MATA e MARQUES [5])

3.3 Características da Luz do Céu Difusa

A luz solar ao atravessar a atmosfera é difundida pelos gases que a compõem, vapor de água e partículas causando uma variação na composição espectral.

Estes efeitos dependem bastante das condições atmosféricas. Se o céu está completamente limpo, a difusão é relativamente pequena enquanto se o céu está encoberto a difusão é muito forte.

O fluxo luminoso Φ (parte da radiação que produz a sensação visual) que atinge a superfície terrestre depende bastante da altitude solar e das condições atmosféricas. A quantidade de luz natural disponível num dado lugar e num dado período do ano varia de ano para ano, sendo apenas possível caracterizá-la por um valor provável.

Os factores que caracterizam a luz do céu são semelhantes aos da luz solar distinguindo-se não por mudar continuamente de direcção mas pela distribuição da iluminância.

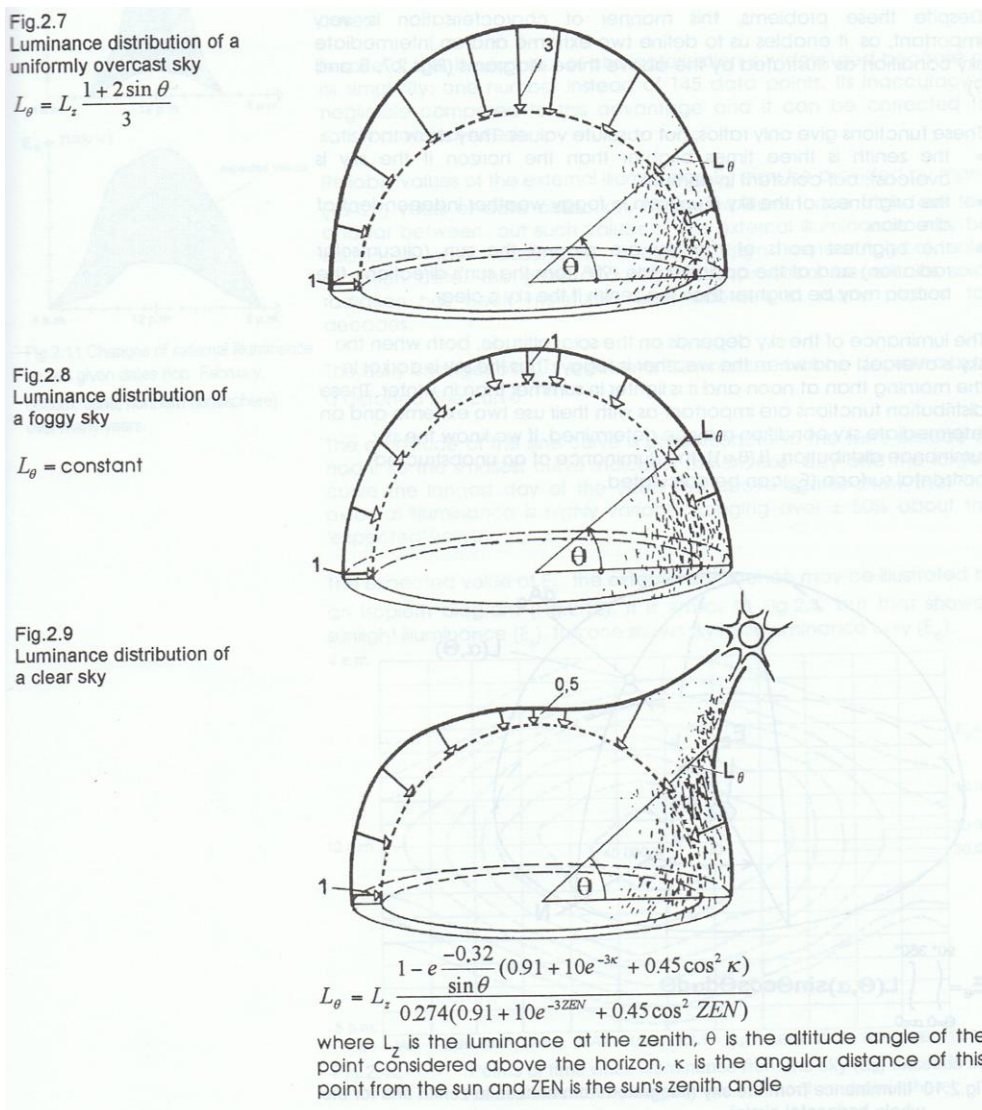


Figura 3.4 – Distribuição da luminância (Majoros, 1998)

Pela figura acima conclui-se que a luminância do céu depende da altitude solar. Sabendo a distribuição da luminância do céu $[L(\theta, \alpha)]$ pode-se calcular a iluminância de uma superfície horizontal desobstruída (E_e).

A luz natural está disponível cerca de 4400 horas por ano entre o nascer e o pôr-do-sol. A qualidade da luz natural depende, antes de mais, das condições atmosféricas (Majoros, 1998).

A luz natural resultante do céu, como fonte de iluminação vista dos espaços interiores, tem como principal vantagem o facto de ser difusa. Assim, são evitados contrastes excessivos não provocando encadeamento.

3.4 Influências Ambientais

Todos os elementos envolventes, quer os naturais quer os feitos pelo Homem, podem ter um papel significativo na iluminação de espaços interiores por reflexão da luz do céu e da luz solar. Deste modo, é desempenhado um papel passivo. Como anteriormente referido, a quantidade e a mudança periódica da luz reflectida pela envolvente são função da luz provinda do Sol e do céu. A reflectância da envolvente tem um efeito secundário na quantidade de luz disponível, mas a cor das superfícies da envolvente pode mudar a qualidade da luz reflectida.

Uma parte da envolvente natural ou construída vista do interior ou é solo ou é obstrução quando bloqueia parte do céu ou do sol (figura 3.5).

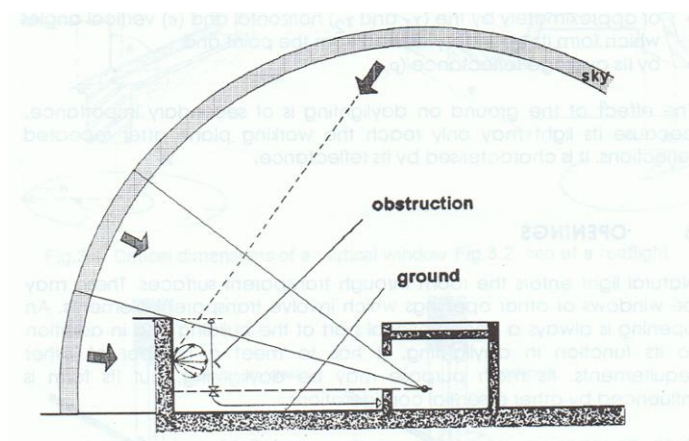


Figura 3.5 – O efeito de uma obstrução em iluminação natural (Majoros, 1998)

Na iluminação, o efeito de uma obstrução é dual: por um lado bloqueia a contribuição de parte do céu e luz solar directa mas por outro lado, reflecte luz de outras partes do céu (ou do Sol) para a divisão.

As dimensões da obstrução são caracterizadas pelo ângulo na horizontal, na vertical e pela sua reflectância (ρ_o) (figura 3.6).

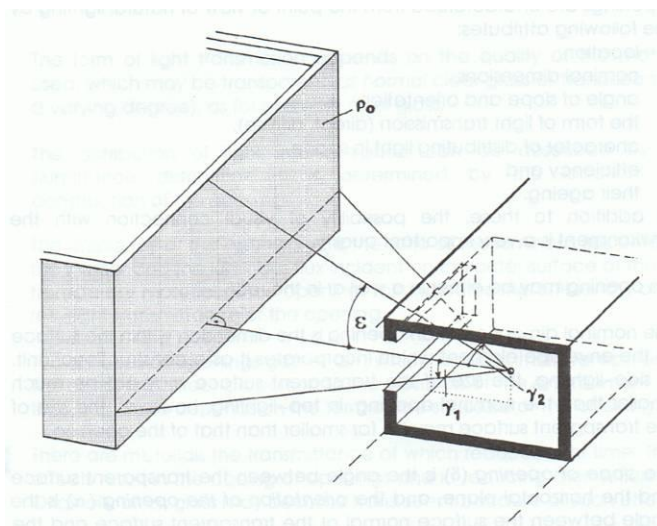


Figura 3.6 – Dimensões de uma obstrução (Majoros, 1998)

3.5 Geometria de Insolação

Além da orientação, as obstruções à radiação solar directa desempenham um papel fundamental nas condições de insolação dos vãos envidraçados. Estas obstruções podem resultar de diversas formas como edifícios fronteiros aos vãos, palas, saliências do próprio edifício ou mesmo vegetação. No caso dos edifícios de habitação e devido a razões essencialmente térmica, procura-se maximizar a insolação dos vãos envidraçados nos períodos frios e minimizá-la nos períodos quentes. A trajectória aparente do Sol ao longo do ano tem, assim, um papel fundamental para o eficaz dimensionamento dos dispositivos de sombreamento (Cunha, 2005).

3.5.1 Geometria Sol-Terra

Os movimentos de translação e de rotação (em torno do eixo polar) da Terra justificam a variação da posição do Sol relativamente a um ponto da Terra ao longo do dia e também ao longo do ano. É por este facto que no Verão o Sol atinge posições “mais altas” que no Inverno. A figura seguinte mostra a posição da terra na elíptica nos equinócios e solstícios.

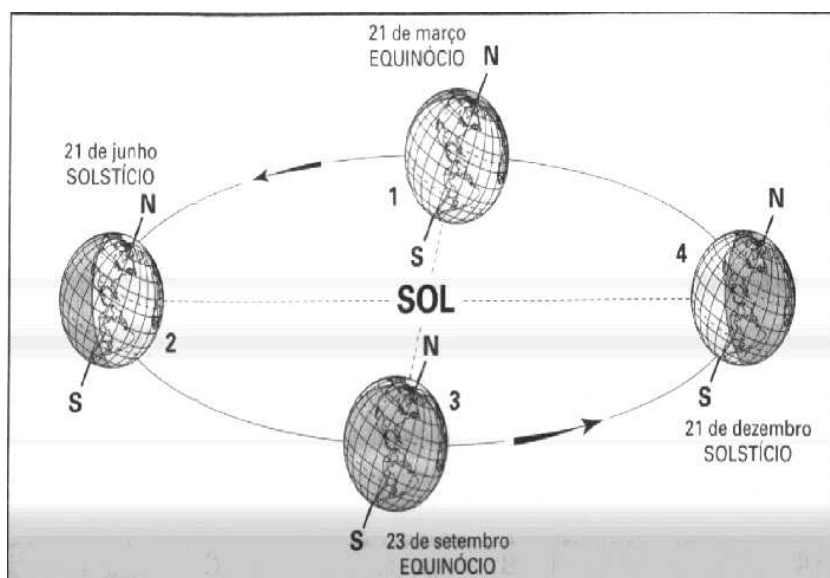


Figura 3.7 – Geometria Sol – Terra

(<http://estacaochronographica.blogspot.com/2010/06/verao-comeca-amanha-as-11h28.html>)

Sendo a órbita elíptica, a distância Terra-Sol varia ao longo do ano aproximadamente 1,7% em relação à distância média, estando a Terra mais perto do Sol no dia 21 de Dezembro e mais afastada no dia 21 de Junho (Silva et al., 2007).

As inclinações do eixo de rotação da Terra em relação ao eixo da elíptica, originam que a duração dos dias e das noites para um dado dia do ano seja diferente conforme a latitude. Devido a este facto surgem as estações do ano, demonstradas na figura em baixo.

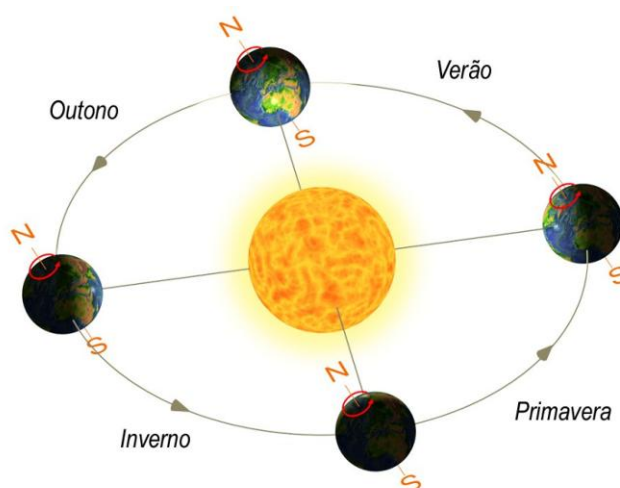


Figura 3.8 – Variação da inclinação do eixo da terra

(http://aiquecalor.pbworks.com/continuando_descobertas)

3.5.2 Sistema de Coordenadas Solares

Como foi dito anteriormente, torna-se necessário definir com exactidão a trajectória aparente do Sol ao longo do dia e do ano em cada ponto do planeta. Os seguintes conceitos tornam-se, assim, fundamentais (Cunha, 2005):

Latitude

Ângulo medido entre o equador e o paralelo que passa pelo lugar considerado.

Longitude

Ângulo medido entre o semimeridiano de Greenwich e o semimeridiano que passa pelo lugar.

Azimute (a)

Ângulo formado pelo plano vertical passando pelo Sol e a direcção do Norte geográfico do lugar, contando positivamente no sentido N→E (o azimute também pode ser dado em relação à orientação Sul sendo que neste trabalho adoptou-se a orientação Norte).

Altura Solar (h)

Ângulo formado pela direcção do Sol e o plano do horizonte do lugar.

Declinação (d)

Ângulo formado pelo plano da elíptica com o plano do equador.

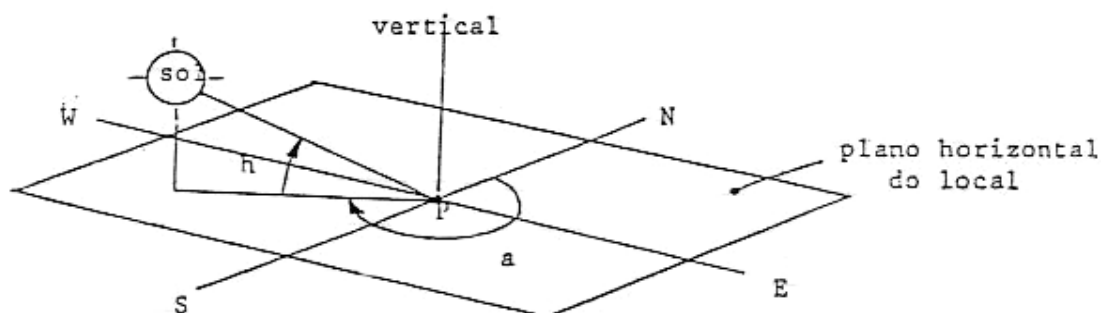


Figura 3.9 – Sistemas de Coordenadas Solares (Cunha, 2005)

3.5.3 Cartas Solares

A radiação solar directa pode atingir a superfície terrestre mas parte é absorvida ao atravessar a atmosfera ou obstruída pelas nuvens.

A luz solar directa é principalmente caracterizada por mudar de direcção continuamente, pela iluminância criada numa superfície horizontal desobstruída e pela sua eficácia luminosa (K – lúmen/W) (Majoros, 1998).

A direcção da radiação solar é caracterizada pelos ângulos do azimuth e altura solar. A variação destes ângulos é representada nas cartas solares onde cada curva corresponde a dois dias do ano (excepto os dias maior e menor). Como o autor Silva et al, (2007) define as cartas solares são projecções, sobre um plano, dos pontos cardeais e das trajectórias aparentes do Sol acima do horizonte do lugar.

De referir que as cartas solares variam com a localização geográfica, assim sendo para cada latitude existe uma carta solar. A figura seguinte é um exemplo de uma carta solar, neste caso para a latitude 48° do hemisfério Norte.

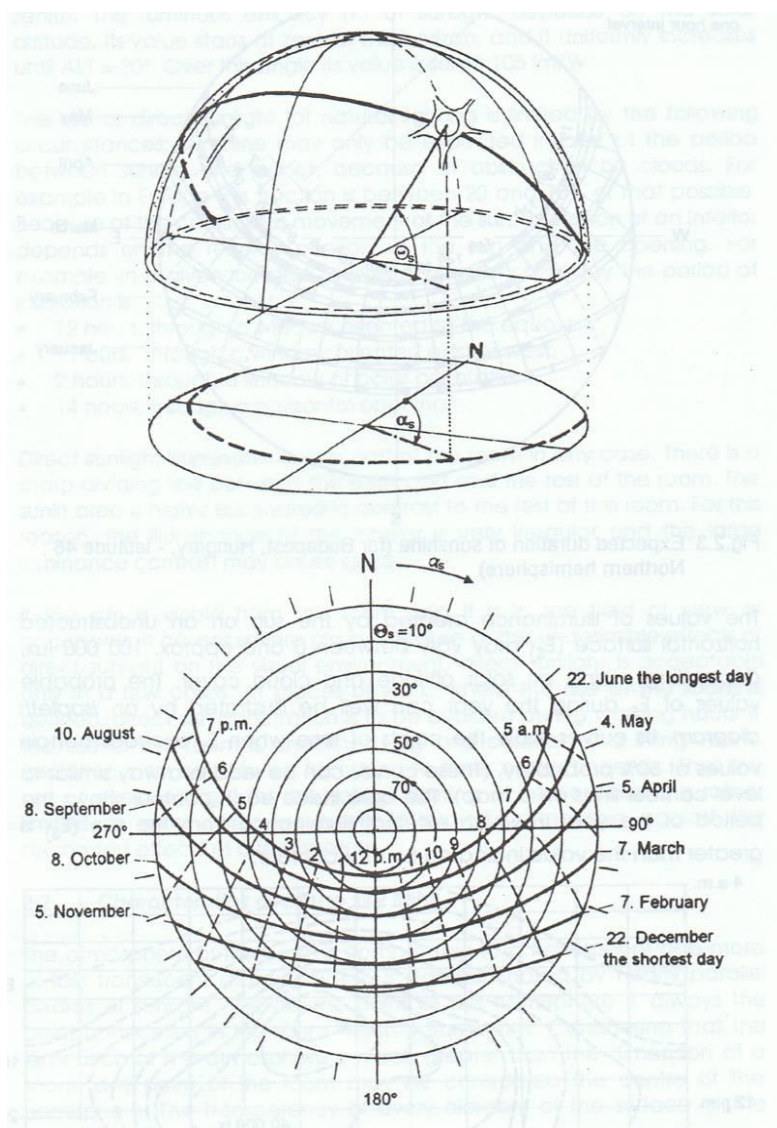


Figura 3.10 – Carta Solar (latitude 48°, hemisfério Norte) (Majoros, 1998)

Pode-se assim concluir que, uma carta solar é a representação da trajectória aparente do Sol no plano de horizonte do lugar para vários dias do ano, numa dada latitude. Nestas está representado o Azimute variando de 60° a 300°, a altura solar variando de 0° a 75° (valores correspondentes a Lisboa, ver anexo I), as trajectórias solares aparentes de alguns dias do ano, ao longo do dia. No que diz respeito a cartas solares, Portugal está dividido em cinco zonas em função da latitude. A figura seguinte representa a carta solar para a latitude compreendida entre os 38° e os 39° estando as restantes latitudes no anexo II.

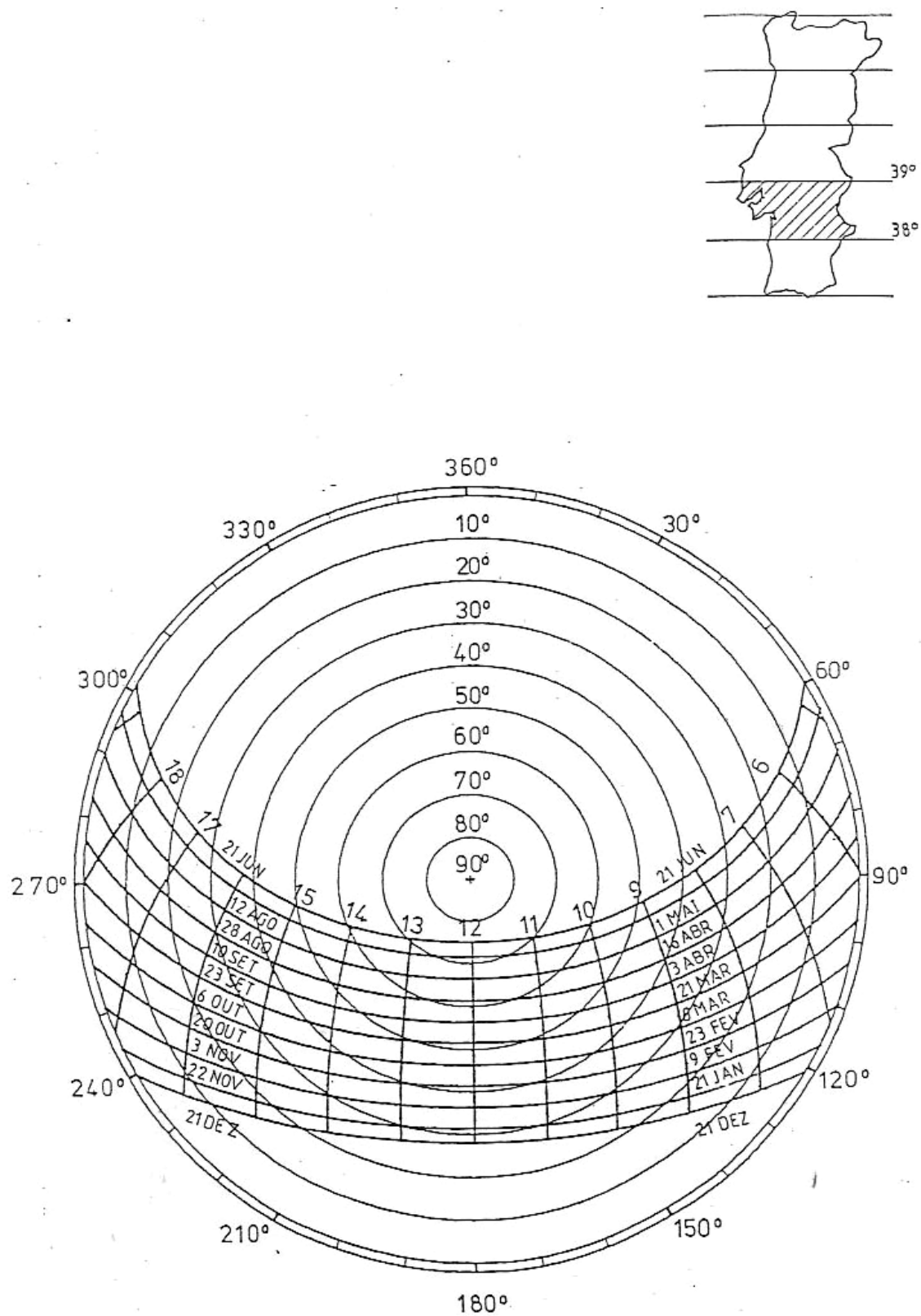


Figura 3.11 - Carta Solar para Portugal Continental, Latitude entre 38° e 39° (Cunha, 2005)

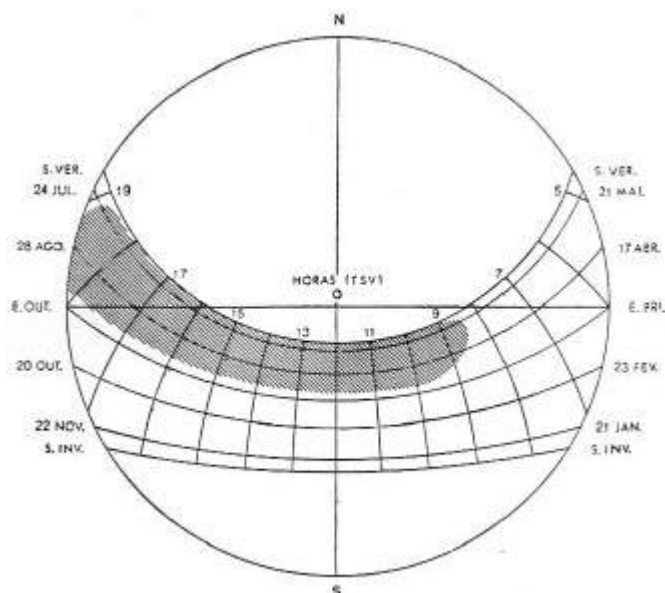


Figura 3.12 – Carta Solar para Lisboa (a zona tracejada corresponde aos dias e horas de penetração solar inconveniente) (Silva et al, 2007)

No caso de edifícios situados no hemisfério Norte, através de uma análise directa da carta solar pode-se concluir que vãos envidraçados verticais orientados a Sul são a opção mais benéfica. Os ganhos solares não são desejados no Verão, no entanto no Inverno já são, pelo que qualquer vão orientado a Sul permite a entrada dos raios solares durante os meses em que o Sol está mais baixo (Inverno) e elimina a entrada dos raios solares quando está mais alto (Verão).

As áreas envidraçadas orientadas a Sul devem ser sempre munidas de sistemas de sombreamento exterior que permitam controlar o grau de luminosidade e a quantidade de raios solares directos que penetram a habitação, sem causar a perda da visão para o exterior nem, tão pouco, a liberdade de ventilar.

Os vãos orientados a Este ou a Oeste têm características semelhantes, sendo de realçar a necessidade de sombrear estes vãos no período de Verão de modo a evitar o sobreaquecimento. Este fenómeno surge principalmente na orientação Oeste pois durante os meses mais quentes do ano, recebe ganhos solares numa altura em que estes não são, de todo, bem-vindos, porque o calor acumulado durante todo o dia já saturou a capacidade de absorção e acumulação da massa térmica do edifício.

A orientação Norte é muito particular pois é a única que não recebe radiação solar directa nos períodos significativos. Ao evitar o excesso de luz solar directa, como acontece nas outras orientações, esta é a orientação indicada para promover uma boa iluminação natural difusa aproveitando a luz natural do céu. Em edifícios de habitação, estes vãos permitem garantir a boa ventilação natural dos espaços, no entanto têm uma importância relevante do ponto de vista energético dado as perdas térmicas que podem ocorrer.

Capítulo 4 – O Conforto Visual nos Edifícios

O conforto visual é o principal condicionante no que diz respeito às necessidades de iluminação no interior dos edifícios. De modo a proporcionar um ambiente visual adequado (conforto visual de acordo com a função da divisão) o espaço interior tem de cumprir certos requisitos, tendo sempre em conta que o espaço interior deve ser visto sem dificuldade e as tarefas visuais forem executadas sem esforço. Juntamente com o conforto acústico e o térmico, o conforto visual é um contributo para a sensação de conforto global.

A iluminação constitui um dos principais factores condicionantes da qualidade ambiental no interior dos edifícios. A principal função da iluminação natural nos edifícios consiste em proporcionar um ambiente visual interior adequado, assegurando as condições de iluminação necessárias à realização das actividades visuais. Essas condições devem incluir a garantia dos mais adequados níveis de iluminação, a existência do conforto visual para os ocupantes e, ainda, os benefícios mais subjectivos, decorrentes da utilização da luz natural em vez da artificial e do contacto com o ambiente exterior através dos vãos envidraçados. As condições referidas anteriormente são conseguidas utilizando superfícies interiores de cores claras, padrões de iluminação não demasiado uniformes, existência de amplas vistas e contacto com o exterior.

4.1 Encadeamento

Em iluminação unilateral as superfícies verticais paralelas às janelas apresentam valores muito diferenciados da iluminação do lado exposto à luz directa do exterior e do lado voltado para a parede de fundo. Este facto dá origem a um efeito de modelação das formas, criando objectos tridimensionais, zonas mais iluminadas e outras menos condicionando a sua aparência.

Tirar partido da iluminação natural é muito diferente de aumentar a área envidraçada da envolvente das construções. Esquecer essa diferença pode ter consequências graves no êxito do projecto, conduzindo a soluções inadequadas, desconforto e consumo de energia. A luz natural é uma componente do clima pelo que aproveitá-la é também integrar a arquitectura dos edifícios no ambiente climático em que estes se encontram (Carvalho, 1985).

O encadeamento é o problema mais importante a nível de conforto visual e da qualidade de iluminação. O encadeamento é causado por um excessivo contraste de luminância (alguma área de elevada luminância) no campo de visão. Em encadeamento directo o desconforto é causado pelo Sol ou céu visíveis, em encadeamento indirecto o desconforto resulta do reflexo da imagem do Sol ou do céu numa superfície brilhante no campo de visão. Seguramente que todos os automobilistas conhecem o efeito desagradável do encadeamento instantâneo: de dia, pelo Sol reflectido por uma superfície polida, ou de noite, pelos faróis de uma outra viatura.

Nos edifícios de habitação, a principal causa de encadeamento é o Sol quando visto directamente. Em menor grau, a luz do Sol reflectida em obstáculos exteriores claros e a luz do céu também provocam encadeamento.

Em janelas a Norte a possibilidade de encadeamento pela luz do Sol directa é diminuta mas por vezes a insolação de fachadas de cor claras de edifícios vizinhos pode causar incómodo. O céu apresenta luminâncias muito variáveis. Quer o céu limpo em zonas não muito próximas da direcção do Sol, quer o céu encoberto com nuvens densas apresentam luminâncias baixas. As luminâncias mais elevadas verificam-se com o céu parcialmente encoberto ou completamente encoberto por nuvens pouco densas pois o facto de o céu estar encoberto difunde a radiação provocando uma maior uniformidade. Assim sendo o valor das luminâncias em zonas mais afastadas da direcção do Sol aumenta resultando por sua vez, num valor de luminância mais elevado.

Quanto mais elevada a luminância, e maior a dimensão da superfície visível, maior é o risco de encadeamento. Quanto mais perto a superfície de luminância elevada na direcção da visão, maior é o problema de encadeamento. Um modo de resolução deste problema consegue-se com um fundo de luminância elevada (reduz o contraste), reduzindo assim o encadeamento.

A probabilidade de encadeamento do Sol, do céu e de obstruções externas depende principalmente da localização da janela no campo de visão. Geralmente, quanto maior a ligação visual entre o interior e o exterior, maior o risco de encadeamento directo.

Em iluminação lateral, o exterior visto através da janela está no campo de visão, tornando maior a probabilidade e o nível de encadeamento esperados (o risco de encadeamento nestes casos depende da orientação da abertura).

Por outro lado, em iluminação superior, a parte do céu visível está acima do campo de visão normal, por isso a probabilidade e o nível de encadeamento são baixos. O encadeamento indirecto depende menos do tipo de sistema de iluminação natural.

Se o encadeamento é para ser evitado ou restringido na iluminação natural, as seguintes circunstâncias têm de ser tidas em conta:

- O encadeamento só ocorre numa parte do tempo de uso, e o nível de encadeamento varia durante este tempo;
- Encadeamento directo é provocado pela penetração da luz do Sol;
- O risco (probabilidade) de encadeamento é maior em iluminação lateral ou combinada que na superior;
- Embora o encadeamento tenha que ser restringido na maioria dos casos, existem interiores sem este requisito.

Se o encadeamento tem que ser evitado, o problema pode ser resolvido, na maioria dos casos, com ajuda de alguns dispositivos arquitectónicos, habitualmente ligados à abertura, completando-a ou modificando-a. Mais eficazes são os dispositivos que reagem, com características que mudam automaticamente, quer movendo componentes ou mudando a sua transparência. Os dispositivos que não reagem reduzem desnecessariamente a iluminação no interior. É muito importante lembrar que dispositivos de sombreamento solar não são necessariamente protecção contra encadeamento.

A solução mais simples de modo a evitar encadeamento é as pessoas não trabalharem de frente para a janela. Uma vez não sendo possível alterar a orientação de trabalho consegue-se reduzir a luminância de uma janela através de cortinas ou outros dispositivos translúcidos. Pode-se também permitir a limitação das zonas exteriores visíveis (céu, superfícies exteriores brilhantes) por meio de dispositivos reguláveis, tais como estores interiores ou exteriores. Outra solução consiste em reduzir o contraste brusco entre as janelas e as superfícies interiores contíguas. Uma forma de o fazer é aumentar a aresta interior do contorno das janelas mantendo a aresta exterior inalterável (figura 4.1).

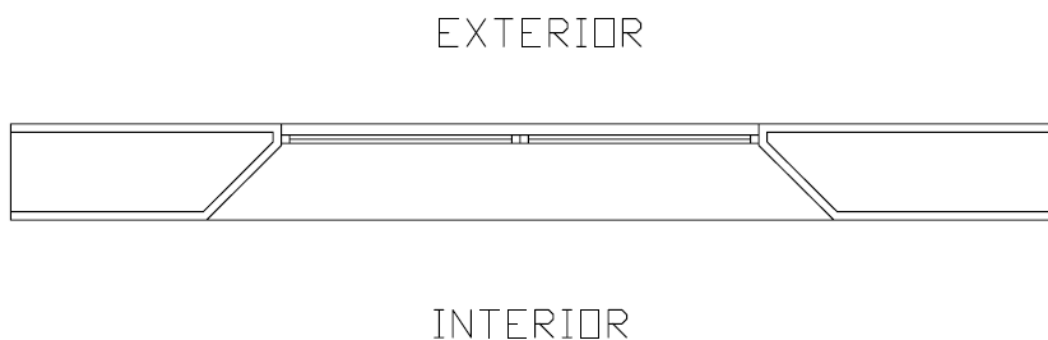


Figura 4.1 – Aumento da aresta interior

Por fim, ao aumentar a iluminância das superfícies interiores, adotando para elas cores claras, em particular na zona envolvente das janelas e recorrendo a iluminação por mais do que uma fachada/tecto também se diminui o encadeamento.

4.2 Níveis de Iluminação Adequada

Tal como referido anteriormente, a iluminância exprime o aspecto quantitativo da iluminação. O nível de iluminância recomendado para uma dada tarefa diz respeito à quantidade de luz que se considera necessária à boa execução dessa tarefa determinando também a qualidade da percepção visual.

Quanto mais próximo estiver o valor do nível superior que considera-se adequado maior será o conforto e a precisão com que se vê, o que significa trabalho mais rápido e perfeito, menos enganos, maior segurança, etc..

Níveis superiores a 1 000 lx aumentam os riscos de reflexão, de sombras demasiado pronunciadas e de contraste excessivo. No caso dos escritórios, por vezes existem grandes superfícies demasiado brilhantes iluminadas, observando-se depois fenómenos de reflexão, de encadeamento, de contraste demasiado marcados que contribuem para um aumento dos riscos de problemas visuais.

Na tabela seguinte encontram-se exemplos de níveis de iluminação apropriados para certas condições:

Tabela 4.1 - Gamas de iluminância por diferentes superfícies, tarefas ou actividades (ISO 8995 (1989))

Gama de Iluminância (lux)	Tipos de Superfícies, de Tarefas ou/e Actividades
20 - 30 - 50	Áreas exteriores de circulação e acesso.
50 - 100 - 150	Zonas de circulação, locais necessitando de simples orientação, ou de visitas de curta duração.
100 - 150 - 200	Dependências utilizadas por períodos curtos como local de trabalho, tais como armazéns, vestiários, átrios e ainda situações requerendo simples verificações.
200 - 300 - 500	Tarefas necessitando de reduzida acuidade visual (ex: maquinagem grosseira, salas de conferências).
300 - 500 - 750	Tarefas requerendo média acuidade visual (ex: maquinagem de média precisão, escritórios, salas de controlo).
500 - 750 - 1 000	Tarefas requerendo elevada acuidade visual (ex: costura, controlo de qualidade, avaliação de cores, salas de desenho).
750 - 1 000 - 1 500	Tarefas requerendo muito elevada acuidade visual (ex: maquinagem e montagem de precisão).
1 000 - 1 500 - 2 000	Tarefas requerendo elevadíssima acuidade visual (ex: gravação manual, inspecção de pormenores).
superior a 2 000	Tarefas requerendo extrema acuidade visual (ex: montagem electrónica de precisão, relojoaria fina e intervenções cirúrgicas).

Na mesma ordem de grandeza dos valores apresentados na ISO 8995 (1989) estão os valores da norma brasileira (ABNT) identificando quais os níveis de desempenho em função do valor de iluminância mínimos (M), intermédios (I) e superiores (S):

Tabela 4.2 - Gamas de iluminância (ABNT)

Dependência	Iluminamento geral para os níveis de desempenho		
	lux		
	<i>M</i>	<i>I</i>	<i>S</i>
Sala de estar Dormitório Copa / cozinha Banheiro Área de serviço	≥ 60	≥ 90	≥ 120
Corredor ou escada interna à unidade Corredor de uso comum (prédios) Escadaria de uso comum (prédios) Garagens/estacionamentos	Não exigido	≥ 30	≥ 45

NOTA: Para os edifícios multipiso, admitem-se para as dependências situadas no pavimento térreo ou em pavimentos abaixo da cota da rua níveis de iluminamento ligeiramente inferiores aos valores especificados na tabela acima (diferença máxima de 20% em qualquer dependência).

Os regulamentos existentes em Portugal aplicáveis aos edifícios e espaços circundantes são documentos legais que visam promover a saúde, conforto e segurança dos habitantes, a qualidade dos edifícios e a utilização racional de energia. Tratam de assuntos como adequada ventilação, redução do ruído, comportamento estrutural, conforto térmico ou a melhoria da eficiência dos sistemas de climatização. Contudo não existe nenhum regulamento relativo à iluminação natural, somente referências em regulamentos de outras áreas, mas que condicionam e influenciam o acesso da iluminação aos edifícios (Brotas, 2002).

Capítulo 5 – A Iluminação Natural nos Edifícios

5.1 Considerações Gerais

A luz natural, ao longo da história, sempre teve um papel importante na arquitectura, do ponto de vista estético e simbólico, em relação ao conforto e à iluminação funcional. A procura da iluminação natural foi incrementada durante a Revolução Industrial, através das inovações tecnológicas (por exemplo, as novas técnicas para a produção de vidro). As implicações arquitectónicas da utilização da luz natural nos edifícios sempre foram, além disso, uma fonte de inspiração para os projectistas; neste sentido a iluminação natural sempre fez parte, ainda que implicitamente, do processo de projecto (Baker et al, 1993).

Na primeira metade do século passado, em parte devido ao desenvolvimento de sistemas mais eficientes e económicos (por exemplo, as lâmpadas fluorescentes), houve uma tendência crescente em diminuir a dimensão das aberturas. Mesmo em edifícios construídos para responder ao problema da economia de energia, a iluminação natural era muitas vezes o aspecto mais negligenciado do projecto. Desta forma, apesar do aumento da eficiência das fontes luminosas e do desenvolvimento de sistemas de controlo da luz artificial, a iluminação permanece sendo ainda hoje, um dos maiores consumos de energia em edifícios não residenciais (Baker et al, 1993).

Nos anos 80/90, progressos significativos nos sistemas para a luz natural foram feitos, incluindo componentes de projecto inovadores e novos materiais, que podem ser usados para controlar e redireccionar a luz natural nos ambientes. O recente interesse pelas questões ambientais, e a busca de eficiência energética e conforto ambiental em edifícios, estimulou um retorno ao uso da luz natural nos edifícios.

No caso de projectos de reabilitação, inúmeras são as oportunidades para melhorar/optimizar o uso da luz natural. Na maioria dos países industrializados, a reabilitação de edifícios, vem crescendo muito nas últimas décadas. O projecto de novos edifícios ou a reabilitação de edifícios existentes oferece muitas oportunidades para melhorar o desempenho da iluminação natural e da qualidade ambiental dos mesmos: a remodelação das fachadas, com inserção de componentes para melhor controlo, captação e distribuição da luz internamente, assim como a instalação de

sistemas automáticos de controlo da iluminação artificial, além de outras estratégias, são exemplos disto.

No fundo, a iluminação tem três funções base: a) iluminação ambiente permitindo um ambiente agradável e adequado para actividades correntes; b) iluminação das tarefas visuais possibilitando o desempenho das tarefas sem esforço nem incómodo sendo que esta iluminação necessita de iluminâncias maiores e uniformes; c) iluminação decorativa (Carvalho, 1987).

Consoante os locais, assim a luz natural pode ser apropriada só por si durante o dia ou pode não dispensar complemento de luz artificial. Os locais de habitação (exceptuando casas de banho e zonas de circulação) não têm, em geral, profundidades elevadas pelo que uma janela relativamente pequena é suficiente para assegurar iluminação ambiente.

Em conclusão, a profundidade dos locais é directamente proporcional à necessidade de complemento de luz artificial.

A luz do Sol, ao incidir no pavimento, nas paredes próximas das áreas envidraçadas e na guarnição das janelas, reflecte-se (reflexão difusa) para as outras superfícies interiores (interreflexões). Caso as superfícies não sejam excessivamente escuras, origina iluminação difusa com iluminâncias elevadas nas zonas mais recuadas dos compartimentos, sinónimo de iluminação com boa qualidade.

A luz do Sol (iluminação directa) deve ser controlada pois perturba o conforto visual, provoca aumento da temperatura além de danificar o pavimento e o mobiliário. Este problema pode ser resolvido exteriormente ou interiormente. É aconselhável uma solução interior no período de Inverno como a colocação de cortinados pouco espessos para difundir a luz, e uma solução exterior no período de Verão como um estore que tem vantagens a nível térmico por criar uma caixa-de-ar relativamente fechada e não permite reflectir a luz do Sol.

Admitindo um céu encoberto, são vários os factores que afectam as condições de iluminação natural para uma igual relação área de vidro/área de pavimento: a obstrução das janelas por edifícios fronteiros ou outros obstáculos bem como a sua reflectância; as reflectâncias das superfícies interiores; a relação largura/profundidade dos compartimentos; a cota limite superior do vidro; caso os vidros não sejam incolores, a sua transmitância luminosa também é importante.

5.2 Sistemas de Iluminação

Existem três sistemas de iluminação natural dependendo da parte da envolvente pela qual a luz entra para o interior (Majoros, 1998), nomeadamente:

- Iluminação lateral
- Iluminação superior
- Iluminação combinada

Em iluminação combinada, existem aberturas tanto na parede como na cobertura. Num interior em que a envolvente não é claramente dividida em paredes e cobertura, como um recinto abobadado, considera-se iluminação lateral se a abertura estiver abaixo de 2,5 m em relação ao pavimento, caso contrário é iluminação superior (de referir que este caso não é comum em edifícios de habitação).

A iluminância do plano de trabalho pode ser directa ou indirecta. A proporção da entrada da luz directa através da abertura e luz indirecta reflectida nas paredes e no tecto depende do sistema de iluminação, da localização da abertura e das superfícies da envolvente.

Na iluminação lateral, como a iluminação vem lateralmente, a iluminância do plano de trabalho próximo da janela é maioritariamente provido de luz directa. Ao afastar-se da janela, o valor de iluminação directa decresce rapidamente, por isso a proporção relativa da componente indirecta, praticamente constante em valor absoluto, aumenta. A contribuição da componente indirecta perto da parede oposta à abertura pode ser igual ou 2 a 3 vezes maior que a directa (Majoros, 1998).

Na iluminação superior, o plano de trabalho é iluminado directamente. A proporção de iluminação indirecta não excede, normalmente, os 25 %. Na iluminação combinada, a proporção das componentes directa e indirecta estão entre os valores mencionados anteriormente.

5.3 Aberturas

A luz natural entra na divisão através de superfícies transparentes. Estas podem ser janelas ou outras aberturas que envolvam elementos transparentes. Uma abertura é sempre um elemento construtivo de um edifício e além da sua função como luz natural, tem de cumprir outros requisitos.

As aberturas são caracterizadas, do ponto de vista da iluminação natural, pelos seguintes factores (Majoros, 1998):

- Localização
- Dimensões nominais
- Ângulo e orientação
- Forma de transmissão da luz (directa, difusa)
- Carácter de distribuição da luz no espaço
- Eficiência
- Envelhecimento

De referir que uma abertura tanto pode ser numa parede como numa cobertura.

O ângulo da janela (δ) é o ângulo entre a superfície transparente e o plano horizontal. A orientação da abertura (α) é o ângulo entre a superfície normal à superfície transparente e o Norte (medido no sentido dos ponteiros do relógio).

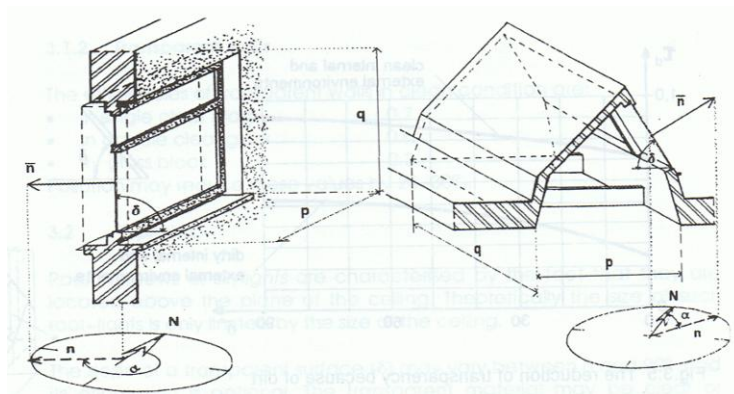


Figura 5.1 – Dimensões de uma janela vertical e de tecto (Majoros, 1998)

A forma da transmissão de luz depende da qualidade do material usado, o qual pode ser transparente ou translúcido.

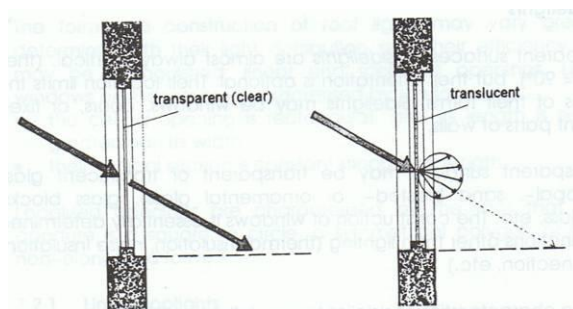


Figura 5.2 – Materiais transparentes e translúcidos (Majoros, 1998)

A distribuição da luz pelo espaço pode ser descrita pela distribuição da iluminância. É determinada pela localização e construção da abertura.

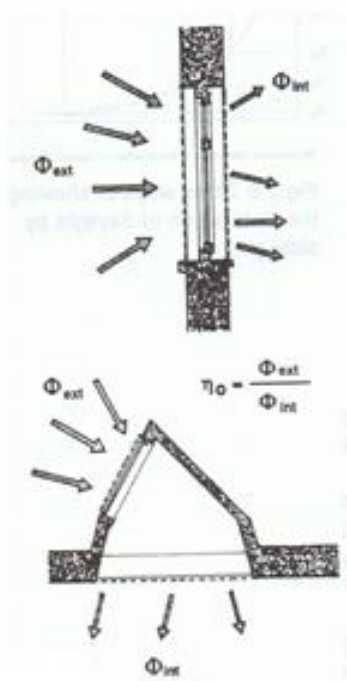


Figura 5.3 – Eficiência das aberturas (Majoros, 1998)

A eficiência da abertura (η_o) é o quociente entre o fluxo luminoso que entra no interior e o fluxo luminoso incidente na superfície exterior do material transparente.

$$\eta_o = \frac{\Phi_{ext}}{\Phi_{int}}$$

[eq. 5.1]

As superfícies das aberturas acumulam sujidade que reduz a sua transparência. Este efeito é directamente proporcional à poluição do meio ambiente e ao tempo, dependendo também da forma da estrutura da abertura.

Existem materiais cuja transmitância é reduzida com o tempo. Estes efeitos resultam do envelhecimento das aberturas e da redução da sua eficiência. É comum que vidro originalmente transparente torne-se translúcido devido a estes efeitos.

5.3.1 Iluminação Lateral

A superfície transparente dos dispositivos de luz lateral (geralmente, janelas em paredes) é quase sempre vertical ($\delta=90^\circ$) mas a orientação é variável. A sua localização limita as possibilidades das suas formas. Podem ser janelas, portas ou partes fixas transparentes de paredes.

As características da iluminação (lateral) são influenciadas por (Majoros, 1998):

- Qualidade do vidro
- Número de camadas
- Sujidade do vidro
- Localização, forma e tamanho relativo
- Construção
- Espessura da parede circundante e a sua ligação
- Orientação

Um aspecto importante da distribuição da iluminância da iluminação lateral é o rápido decréscimo quando nos afastamos da janela. Como referido no sub-capítulo anterior, na iluminação lateral, o grau de insolação possível depende da orientação da janela.

A eficiência da iluminação depende principalmente do envidraçado, do número de camadas, da construção e da sua sujidade. A eficiência ordinária, para vidros duplos com 2-5 m² (limpos) em paredes com 350mm é de 0,4 a 0,5 (Majoros, 1998). Estes valores são inferiores em relação aos apresentados no RCCTE (ver anexo IV) para o factor solar dos envidraçados (grandeza correspondente à eficiência). Esta diferença diz respeito às condições de uso corrente, ou seja, existe uma redução devido à poluição pode chegar aos 30%.

5.3.2 Iluminação Superior

O ângulo da superfície transparente (δ) pode variar entre 0 e 90° e a orientação é opcional. O material tanto pode ser transparente como translúcido.

Quando o plano da área envidraçada aproxima-se do horizontal, estes vãos oferecem uma iluminação muito especial e bem-vinda nos dias mais frios de Inverno, porém são vãos extremamente perigosos no contexto climático de Portugal, porque os raios solares são demasiado intensos durante muitos dias do ano, resultando em sobreaquecimento por consequência do efeito de estufa. O encadeamento é um factor sempre a ter em conta nestas aberturas dado a radiação solar entrar directamente no interior da divisão, visto a dependência relativa à orientação ser menor a incidência directa tem uma duração mais longa. No entanto, sempre que forem tidas em consideração medidas que atenuem estes possíveis efeitos negativos, a iluminação superior pode ter um papel muito enriquecedor para a qualidade de iluminação no espaço onde está inserida.

5.3.3 Efeito da Localização da Abertura

O objectivo principal de iluminar o interior é prover uma iluminância adequada no plano de trabalho (em geral, 850 mm acima do piso).

A iluminância de um dado ponto de trabalho depende da localização da abertura pelas seguintes razões (Majoros, 1998):

- Aberturas com a mesma dimensão podem parecer maiores ou menores dependendo da sua posição relativa e de onde são vistas. Quanto maior a abertura parecer de um dado ponto, maior porção do céu irá contribuir para a iluminação desse ponto.
- A iluminância de uma superfície depende do ângulo de incidência da luz (ângulo dado pela normal à abertura e pelo raio solar). Quanto maior o ângulo de incidência, menor iluminância.

Pode-se concluir que o resultado destes efeitos é que uma abertura fornece máxima iluminância para um ponto do plano de trabalho se estiver por cima dele. Consequentemente a iluminação superior é mais eficiente que a iluminação lateral. Por outro lado, o posicionamento e a orientação determinam quais as partes da envolvente exterior que são obstruções e qual a contribuição das reflexões existentes.

5.3.4 Efeito da Inclinação e da Orientação

Um efeito do ângulo da janela é que enquanto aberturas horizontais ($\delta=0^\circ$) “vêm” todo o hemisfério do céu, nas aberturas verticais ($\delta=90^\circ$) apenas metade do hemisfério do céu pode contribuir para iluminação do interior.

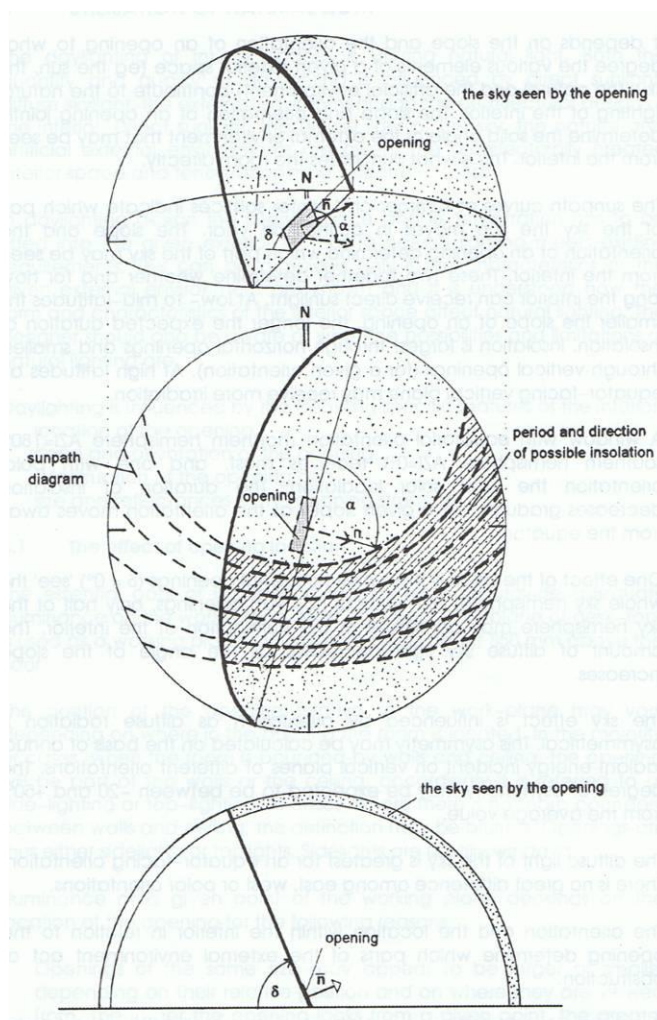


Figura 5.4 – Efeito da orientação e inclinação (Majoros, 1998)

Uma janela com orientação equatorial (hemisfério Norte, azimuth=180°; Sul, azimuth=0°) recebe o máximo de irradiação solar enquanto a orientação polar recebe o mínimo.

A orientação e a localização, no interior, em relação à abertura, determinam quais as partes da envolvente externa que actuam como obstruções.

Constata-se também que o nível segundo o qual o solo influencia a iluminação natural do interior depende tanto da inclinação como da orientação da abertura. O efeito do

solo é directamente proporcional $\bar{\theta}$, pois quanto maior este ângulo maior é a contribuição da reflexão da radiação que incide no solo.

De referir ainda que o depósito de sujidade em superfícies transparentes também depende do ângulo de inclinação. Quanto menor este ângulo, maior a quantidade de sujidade que se acumula num determinado intervalo de tempo (a limpeza por parte da chuva é reduzida) e mais a transparência e eficiência é reduzida.

5.3.5 Efeito da Constituição da Abertura

5.3.5.1 Elementos Transparentes

Do ponto de vista da iluminação, o elemento transparente é o mais importante da abertura. É caracterizado por (Majoros, 1998):

- Número de camadas
- Transparência do elemento
- Transmissão/difusão

O número de camadas é determinado pelos requisitos energéticos de aquecimento ou arrefecimento. Se a energia exigida é pequena, vidro simples é suficiente, caso seja grande deve-se usar vidro duplo ou triplo.

Uma característica essencial do envidraçado é o valor do factor solar. Segundo o RCCTE o factor solar de um vão envidraçado é o quociente entre a energia solar transmitida para o interior através de um vão envidraçado com o respectivo dispositivo de protecção e a energia da radiação solar que nele incide.

A transparência é medida pelo valor da transmitância. Por sua vez, o valor da transmitância depende de três factores: qualidade e espessura do material, qualidade da superfície e ângulo de incidência da luz (INC).

Uma superfície transparente transmite luz difusa, multidireccionada, para um nível diferente a partir de diferentes direcções. A transmitância para luz difusa (ζ_{diff}) é uma média ponderada calculada com base em ângulos de incidência e distribuição de

intensidade. Este é o factor utilizado no cálculo dos efeitos do céu, solo e obstruções. Como se verifica na figura em baixo, o valor de ζ_{diff} depende de:

- Qualidade de céu e solo que é “vista” por parte da superfície transparente;
- Distribuição da luminância da parte do hemisfério “vista”;
- Condição do céu [$L=f(\alpha, \theta)$];
- Reflectância do solo (ρ_g).

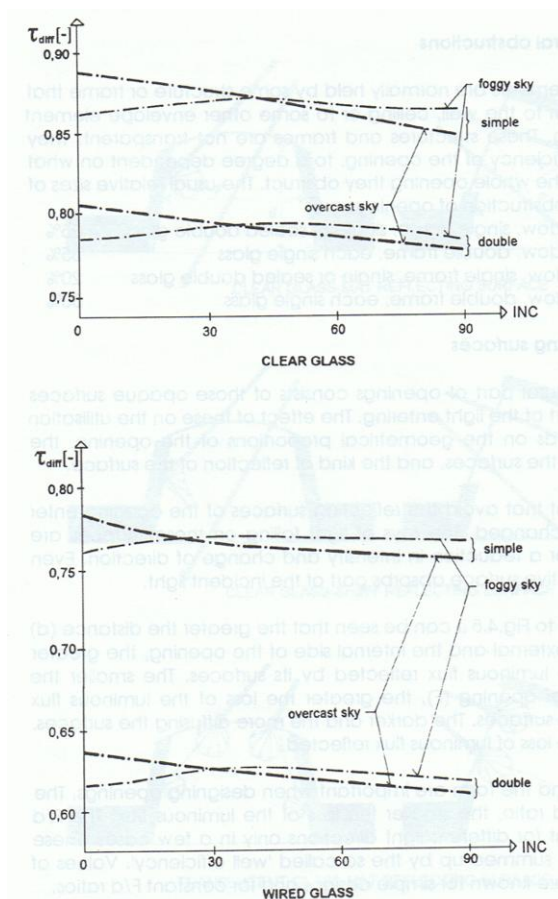


Figura 5.5 – Transmitância do vidro para componentes da luz difusa (Majoros, 1998)

Os vidros coloridos transmitem menos luz e menos energia da radiação solar. Estes são caracterizados pela transmitância luminosa (iluminação natural) e pelo seu factor solar a nível térmico.

Este tipo de vidro permite limitar o risco de encadeamento desde que a redução da transmissão luminosa não seja excessiva. Nos períodos quentes, a protecção solar exterior que se admite manter poderá ser dispensada mais frequentemente, com vantagem no contacto visual com o exterior e até na iluminação natural. Por outro lado, nos períodos frios perde-se o ganho térmico adjacente que permitiria poupar energia de aquecimento.

5.3.5.2 Obstruções Estruturais

Elementos transparentes são normalmente suportados por uma estrutura ou caixilharia que os liga à parede, cobertura ou outro elemento da envolvente do edifício. Visto que estas estruturas não são transparentes reduzem a eficiência da abertura, a um nível dependendo da proporção ocupada na abertura. O tamanho relativo usual de obstruções estruturais é (Majoros, 1998):

- Caixilharia de madeira, vidro simples ou duplo 25%
- Caixilharia de madeira, com quadricula 35%
- Caixilharia de alumínio, vidro simples ou duplo 20%
- Caixilharia de alumínio, com quadricula 30%

A título comparativo podemos observar que os valores apresentados no RCCTE diferem dos valores acima indicados.

Quadro 5.1 – Fracção envidraçada para diferentes tipos de caixilharia (Quadro IV.5 do RCCTE)

Tipo de caixilharia	F_g	
	Caixilho sem quadricula	Caixilho com quadricula
Janelas de alumínio ou aço	0,70	0,60
Janelas de madeira ou PVC	0,65	0,57
Fachadas-cortina de alumínio ou aço	0,90	

5.4 Efeito do Interior

Apenas uma parte do fluxo luminoso que entra na divisão através de uma abertura chega directamente ao plano de trabalho. A parte restante atinge o plano de trabalho após reflectir uma ou mais vezes. Esta é a razão pela qual a geometria do espaço interior, a reflectância das superfícies e o tipo de reflexão têm um papel tão importante na iluminação natural.

A contribuição das superfícies para a iluminação do plano de trabalho depende do número de reflexões a que a luz natural é sujeita antes de atingir o plano. Todas as reflexões reduzem a quantidade de fluxo luminoso disponível. Consequentemente, o efeito das paredes, tecto e pavimento vai diferir consideravelmente dependendo do local da abertura (lateral ou superior).

Em iluminação lateral, os efeitos das duas paredes laterais e da parede oposta à abertura são de grande importância, na medida em que podem reflectir parte da luz que entra através da abertura chegando ao plano de trabalho após uma reflexão. O efeito do tecto é menor, dado que não consegue “ver” o céu; assim, a luz que atinge o tecto já foi reflectida no solo ou em superfícies exteriores. O efeito do pavimento é usualmente desprezável pois está largamente ocupado pelo mobiliário e a luz reflectida por este pode apenas chegar ao plano de trabalho após mais reflexões. A parede da janela tem um papel secundário pois a luz já foi reflectida pelo menos uma vez.

Na iluminação superior as reflexões são menos importantes. Caso uma parede esteja perto da abertura e seja bem iluminada pode ter um papel importante; já o tecto e o pavimento têm ambos papéis secundários.

Resumindo, o efeito de superfícies interiores na iluminação natural é maior em iluminação lateral que em iluminação superior.

5.5 Quantificação da Iluminação Natural

A iluminação do interior é quantificada pela iluminância no plano de trabalho. Este é o valor mais importante no interior do ponto de vista da execução de tarefas, cumprindo a função do interior. A referência, ou plano de trabalho, é um plano horizontal fictício no nível da mesa ou do pavimento, dependendo do uso da divisão. Pode ser vertical no caso de uma parede de exposição.

5.5.1 Factor de Luz do Dia

O método mais usual para quantificar a iluminância é especificando a média de valores e a taxa de uniformidade.

A iluminância de um dado ponto da superfície do interior (E_i) é proporcional a uma simultânea iluminância externa, medida no mesmo lugar numa superfície horizontal desobstruída (E_e), que dá o Factor de Luz do Dia (FLD) em termos percentuais:

$$FLD = \frac{E_i}{E_e} \times 100 [\%]$$

[eq. 5.2]

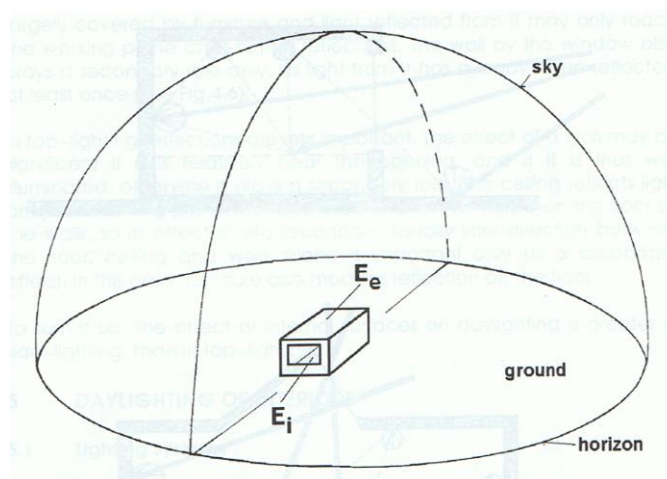


Figura 5.6 – Iluminância interna e externa (Majoros, 1998)

À medida que a iluminância externa muda continuamente, a iluminância interna deve acompanhar, para que este valor para o instante t seja:

$$E_{i(t)} = \frac{FLD}{100} \times E_{e(t)}$$

[eq. 5.3]

Nesta equação o termo $E_{e(t)}$ representa o céu como fonte de iluminação, o qual produz a iluminância horizontal, e o termo $FLD/100$ é função do projecto de arquitectura.

O factor de luz do dia (FLD) é uma expressão da eficiência da utilização da luz do céu para prover iluminância horizontal no interior mostrando assim a restrição da potencial iluminância disponível devido a obstruções externas.

O FLD quantifica a iluminação natural de uma forma indirecta, sendo a unidade em % e não em lux. Embora o valor do factor de luz do dia seja constante pode ser usado como primeira aproximação e é um conceito muito útil para quantificar a iluminação natural no interior.

O factor de luz do dia quantifica todos os efeitos do interior e do exterior na iluminância de um ponto interior. O FLD é função de:

- Posição do ponto considerado;
- Dimensões do interior;
- Reflectâncias das superfícies interiores;
- Localização, dimensão e estrutura da abertura;
- Localização, dimensão e reflectância de obstruções externas;
- Reflectância do solo.

Consequentemente, o factor de luz do dia pode ter os seguintes valores críticos:

- FLD_{av} valor médio
- FLD_{min} valor mínimo
- $FLD_{min}/FLD_{av} = \Psi$, taxa de uniformidade

A iluminação, num dado ponto do interior, pode ter um infindável número de valores ao longo do ano, mas nenhum deles consegue caracterizar a iluminação natural por si só. Assim, um valor de iluminação do interior fornece alguma informação útil acerca da luz natural quando conjugado com a iluminância externa.

5.5.2 Uniformidade no Espaço

A uniformidade de iluminação no espaço pode ser quantificada pela irregularidade da iluminância no plano de trabalho. A iluminância num dado ponto do interior tem duas componentes, iluminância directa vinda do ambiente exterior e iluminância indirecta reflectida nas superfícies do interior. Embora a relação dos componentes directos e indirectos no plano de trabalho varie de ponto para ponto dependendo do sistema de iluminação, podendo os dois componentes de iluminância ser praticamente iguais, o carácter de distribuição da iluminância é determinada essencialmente pela componente directa.

A iluminância directa de um ponto no plano do trabalho depende principalmente da porção de céu visível daquele ponto e do ângulo de incidência médio da luz do céu naquele ponto. As iluminâncias são proporcionais à quantidade de céu visível e aos cosenos dos ângulos de incidência da luz. A quantidade de céu visível e o ângulo de incidência da luz dependem ambos da localização da abertura na envolvente da divisão, logo a iluminação directa depende do sistema de iluminação.

As variações espaciais da luz natural podem ser caracterizadas por (Majoros, 1998):

- Distribuição do factor de luz do dia (FLD) ao longo da direcção;
- Valor médio do factor de luz do dia FLD_{av} e a taxa de FLD_{min}/FLD_{av} no plano de referência.

Na iluminação lateral, os pontos do plano de trabalho são iluminados por porções decrescentes do céu em ângulos de incidência crescentes à medida que nos afastamos da janela. Na iluminação lateral existe uma grande falta de uniformidade.

As dimensões do interior, principalmente o pé-direito, limitam o nível segundo o qual a variação da iluminação lateral pode ser influenciada pela localização e dimensão da janela. Os parâmetros arquitectónicos que afectam a iluminação natural em iluminação lateral são os seguintes (por ordem decrescente de importância):

- Profundidade da divisão;
- Dimensão da janela;
- Pé-direito da divisão;
- Reflectância das paredes;
- Largura da janela;
- Reflectância do tecto.

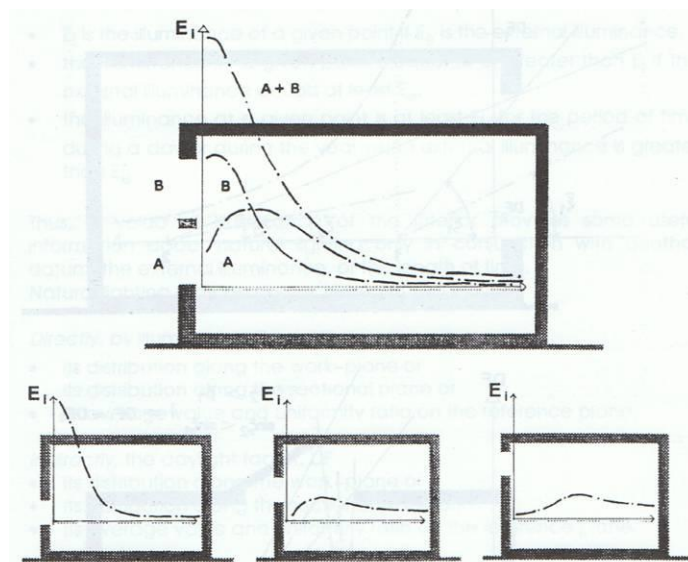


Figura 5.7 – Efeito da posição da janela na distribuição de iluminância (Majoros, 1998)

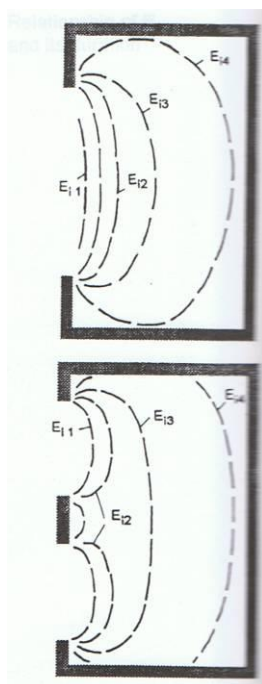


Figura 5.8 – Distribuição de iluminância em janelas contínuas e divididas (Majoros, 1998)

A partir da figura acima temos que uma janela localizada no topo da parede ilumina o espaço mais uniformemente que uma janela localizada em baixo. Por sua vez, uma janela contínua (sem estar dividida pela estrutura) fornece uma iluminação mais uniforme através da divisão (paralela à janela) que uma janela dividida. Este efeito diminui à medida que nos afastamos da janela e torna-se desprezável na parede de trás.

Em iluminação superior o número de aberturas, a altura do espaço e o design da abertura determina a uniformidade da iluminação do espaço.

Com aberturas de área igual e estrutura idêntica, quanto maior o número de aberturas, maior a uniformidade. Com o número de aberturas igual e estrutura idêntica, quanto maior a área das aberturas, maior a uniformidade. Com o número de aberturas, estrutura e disposição idênticos, quanto maior a altura interior, maior a uniformidade.

A iluminação superior e a iluminação combinada (lateral mais superior) conseguem cumprir qualquer requisito de iluminação uniforme.

5.6 Projecto de Iluminação Natural

Iluminar naturalmente os espaços interiores é utilizar a luz natural. Ambas a qualidade e a quantidade da iluminação natural são influenciadas pela luz directa solar, luz difusa do céu, a envolvente exterior e a arquitectura do interior. Todos estes aspectos são dados à excepção da arquitectura.

No projecto de iluminação natural, o espaço interior e a fenestração têm que ser ajustados ao exterior (já conhecido) para que a luz natural cumpra os requisitos exigidos. Para atingir este objectivo temos de conhecer as características da envolvente exterior e perceber como a forma e as características do espaço interior afectam a iluminação natural. O projectista deve ter conhecimento das possibilidades e das limitações da luz natural.

5.6.1 Componentes do projecto

A existência de um projecto de iluminação é fundamental pois garante o cumprimento das condições de: a) iluminâncias necessárias ao desempenho das diferentes tarefas visuais; b) conforto visual (eliminando ou atenuando problemas de encadeamento – directo e por reflexão, pela luz do Sol e/ou do céu -, atenuando diferenças excessivas de contrastes, melhorando a uniformidade das iluminâncias); c) assegurar que o aproveitamento da iluminação natural não se reflectirá negativamente noutros aspectos do ambiente interior (por exemplo desconforto térmico) ou no consumo energético (em energia para aquecimento durante os períodos frios ou de

arrefecimento durante os períodos quentes); d) optar por sistemas de iluminação artificial (fontes de iluminação, luminárias e sistemas de controlo) energeticamente eficientes e flexíveis, sem prejuízo das necessidades quantitativas (valores de iluminâncias) e qualitativas (ausência ou minimização do desconforto visual) da iluminação; e) as mais adequadas condições de articulação e complementaridade entre sistemas de iluminação natural e artificial (Santos, 2007).

Os principais componentes do projecto são os aspectos funcionais da iluminação, estando directamente ligados com a quantidade e qualidade da iluminação. Os factores relacionados com estes aspectos dizem respeito a níveis de iluminação (iluminâncias e factor de luz do dia), uniformidade das iluminâncias, distribuição das luminâncias, encadeamento, contraste, e as propriedades de cor da luz.

A quantidade e a qualidade da iluminação dependem de diversos factores, como as condições de nebulosidade do céu (por exemplo, um céu completamente encoberto por nuvens espessas e escuras “fornece” menos luz do que um céu completamente descoberto), e o período do dia e do ano (como referido no capítulo anterior, a variação posicional relativa do Sol originando diferentes valores de iluminação).

Os factores anteriores são de uma dimensão externa ao ser humano sendo que os seguintes são devido a opções tomadas em projecto como as características geométricas do edifício e dos compartimentos (a forma e as dimensões do edifício e dos compartimentos condicionam os níveis de distribuição da luz natural no interior destes), a dimensão, forma, localização, orientação e características de transmissão de luz do envidraçado, de características reflectométricas e grau de obstruções exteriores (a existência de obstruções significativas aos vãos envidraçados constitui um aspecto limitador da luz natural que é possível admitir aos espaços interiores e quanto mais escuras forem estas obstruções maior é o efeito de diminuição) e, por fim, das características reflectométricas das superfícies interiores, visto que os acabamentos superficiais de cores claras beneficiam a reflexão da luz natural e consequentemente podem contribuir para a sua melhor distribuição nos espaços interiores.

Uma componente a ter em conta é a integração arquitectónica. A forma, localização, orientação e dimensões dos vãos envidraçados, a geometria dos compartimentos entre outros aspectos são frequentemente decididos apenas pelo arquitecto, tendo fortes implicações no desempenho final do edifício em termos de iluminação natural e consequentemente em termos energéticos, funcionais e de conforto dos ocupantes

(Santos, 2007). Neste sentido, há toda a vantagem em estabelecer acções de articulação, desde as fases iniciais de projecto, que permitam compatibilizar as diferentes estratégias do projecto.

Dos requisitos de iluminação, o da iluminância necessita de um projecto quantitativo, enquanto os outros podem ser atingidos usualmente por tratamentos qualitativos, por uma adequada formação de certos detalhes do interior.

5.6.2 Projectando a Iluminância

A maioria dos países tem normas ou códigos de prática para valores exigidos de iluminância média (E_R) e uniformidade da iluminação no espaço (Ψ) para diferentes actividades e áreas. É aconselhado projectar a iluminância natural do interior com base nestes valores normativos (ver capítulo 4).

Como a iluminância do interior muda continuamente temos que se E_R é menor que a maior iluminância média interior durante o ano, a iluminância natural do interior pode ser considerada adequada para parte do ano, quando as condições exteriores ultrapassam um dado valor. Opostamente, se E_R exceder o maior valor de iluminância média durante o ano, a iluminância natural do interior não cumpre os requisitos durante todo o ano.

Ao projectar luz natural, tem que se decidir primeiro sob que condições exteriores e, em segundo lugar, para que duração de tempo durante as horas de trabalho do ano a iluminância natural será insuficiente.

As condições exteriores e a duração de tempo no ano estão interligadas como mostra a figura de luz natural disponível:

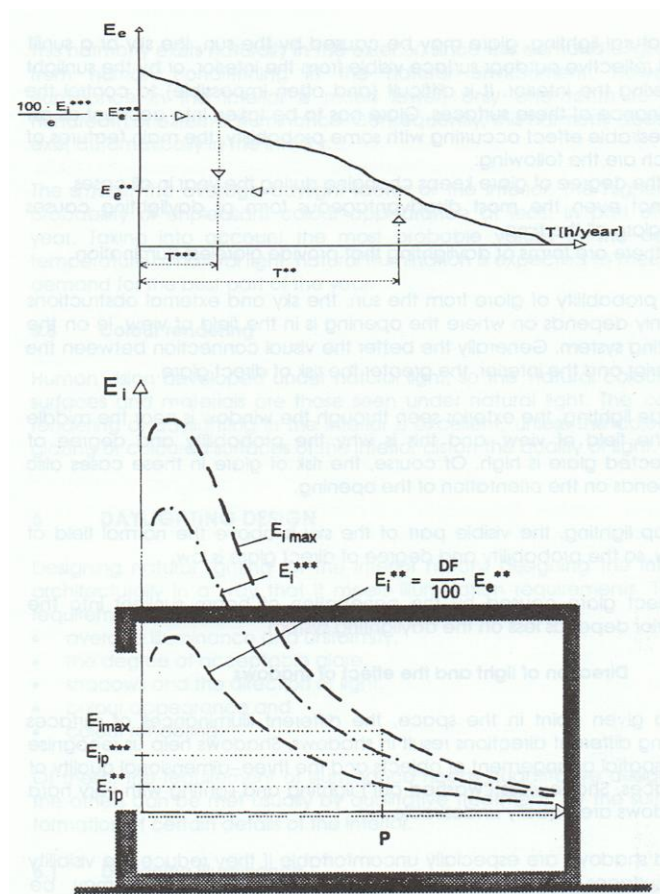


Figura 5.9 – Ligação entre iluminância do interior e a duração no tempo (Majoros, 1998)

De referir que existem diferentes curvas de E_i para cada valor de E_e . Para um dado tempo T^* e respectivo valor de iluminância externa E_e^* , a distribuição de iluminância corresponde à curva E_i^* .

De acordo com a figura, para um dado ponto P cujo valor de factor de luz do dia é DF_P , o valor da iluminância é, pelo menos, E_{ip} para uma duração de tempo T^** do ano.

$$E_{ip} = \frac{DF_P}{100} \times E_e^**$$

[eq. 5.4]

Quando se consideram as condições exteriores, a condição do céu e a iluminância (E_e) devem ser determinadas. Este valor de E_e e a condição de céu são referidos como projecto do céu.

No seguimento do acima indicado, deve ser decidido qual das três condições do céu definíveis - muito nublado, enevoadado, limpo - é a mais típica de uma dada localização geográfica.

O projecto do céu é geralmente descrito em termos do projecto de iluminância exterior (E_{eD}), que pode ser definido como a percentagem de dias do ano em que os requisitos da iluminância são cumpridos pela luz natural. É habitualmente sugerido escolher um valor de E_{eD} que torne possível satisfazer os requisitos da iluminância pela luz natural em cerca de 90% dos dias (horas de trabalho) do ano. Maiores valores de E_{eD} resultam em aberturas menores e vice-versa.

O projecto efectivo é baseado no factor de luz do dia requerido FLD_R , que pode ser determinado pelos valores de E_R e E_{eD} segundo:

$$FLD_R = \frac{E_R}{E_{eD}} \times 100 [\%]$$

[eq. 5.5]

A luz natural para uma determinada iluminância é projectada com base no factor de luz do dia (FLD), ou seja, na prática, a tarefa de projectar é a que se descreve a seguir.

Dado um espaço interior com geometria e dimensões conhecidas, o material e a cor das superfícies forem escolhidas e o ambiente exterior é conhecido. A função da divisão é conhecida. Tendo em conta o conceito arquitectónico e as possibilidades práticas, o arquitecto toma uma decisão relativa a:

- Sistema de iluminação: qual usar (lateral, superior ou combinado);
- Forma e tipo de luzes (aberturas).

Por fim, falta definir os parâmetros principais, o número e a disposição do tipo de luz.

Projectar para iluminação natural é um processo indirecto porque o objectivo é chegar ao FLD_R , o factor de luz do dia requerido. A tarefa é projectar um interior cujas aberturas proporcionem, independentemente das condições ambientais, um factor de luz do dia do interior igual a FLD_R e uma iluminância igual ou maior que E_R quando a iluminância exterior for igual ou maior a E_{eD} .

O projecto de luz natural é diferente em iluminação lateral e superior.

Em iluminação lateral, os requisitos para atingir uma certa iluminância e uniformidade média usualmente não são conseguidos. Necessariamente, falta uniformidade à iluminação e é rapidamente reduzida com a distância à janela. Assim sendo, o requisito é colocado para um certo ponto do plano do trabalho, e o seu valor deve ser excedido entre esse ponto e a janela (o suposto é que a parte da divisão posterior ao ponto possa ser usada para tarefas com menor exactidão visual).

Se a iluminância média para uma dada actividade for E_R , e a taxa de uniformidade permitida for Ψ , a iluminância mínima aceitável é $\Psi \times E_R$, logo o factor de luz do dia requerido é:

$$FLD_R = \Psi \times \frac{E_R}{E_{sD}} \times 100 [\%]$$

[eq. 5.6]

Em iluminação superior, ou combinada, os requisitos de iluminância e uniformidade média são geralmente conseguidos; assim sendo, nestes sistemas, o projecto é baseado no valor médio do factor de luz do dia segundo a equação 5.6.

A iluminância para iluminação natural pode ser projectada por:

- Métodos gráficos;
- Cálculos numéricos;
- Modelação física.

A figura 3.5 mostra que um ponto do plano de trabalho pode receber luz do céu (sol) de três formas:

- a) Directamente, por uma porção do céu visível daquele ponto;
- b) Reflectida da superfície de um objecto exterior;
- c) Da luz que entra através da janela, mas chega ao ponto considerado apenas após uma ou mais reflexões interiores.

A iluminância de um ponto (E_i) é a soma destes três componentes. Existem numerosos métodos disponíveis para determinar um ou todos estes componentes. Estes métodos gráficos ou matemáticos variam muito na sua precisão. Muitos deles desprezam factores importantes e fazem simplificações consideráveis e debatíveis. A maioria (métodos gráficos) dão o resultado para uma determinada abertura, logo o projecto tem de ser uma série de passos de tentativa-erro. Todos os métodos calculam a luz de um dado ponto no plano de trabalho (ou plano de referência). Caso o nosso objectivo seja calcular a distribuição de luz natural, o cálculo tem de ser repetido para um grande número de pontos de modo a poder ser interpolado (Majoros, 1998).

Métodos gráficos:

- Método de Grün
- Método de Waldram
- Diagrama Pepper-pot
- Método de Daniluk
- Método de BRS

Métodos matemáticos

- Nomogramas CIE
- Método de fluxo total, usando tabelas de factores de utilização
- Método de eficiência
- Método de generativo

5.7 Cálculo de Áreas de Janelas

5.7.1 Método Generativo (para iluminação lateral)

O método seguinte foi “desenvolvido pelo Majoros” com base em medidas do céu artificiais na Technical University of Budapest. O método é adequado para cálculo da área da janela requerido (S_{WR}) com as seguintes limitações:

- Dimensões da divisão entre os seguintes valores
 Largura 2,5 – 15m
 Profundidade 2,5 – 12m
 Pé-direito 2,5 – 5m
- Se existe uma obstrução à frente da janela, são conhecidos os ângulos ϵ e γ (ver figura 5.10) bem como a sua reflectância;
- A estrutura da janela a ser construída é conhecida;
- A poluição (grau de sujidade) do ambiente é conhecida.

Dados iniciais:

1. Informação geométrica da divisão (largura, profundidade, altura);
2. Reflectância média do tecto;
3. Reflectância média das paredes da divisão que não tem janelas;
4. Ângulos horizontal e vertical inerentes à obstrução;
5. Reflectância média da obstrução;
6. Tipo da janela a ser usada e a sua localização;
7. Envolvente do edifício;
8. O factor de luz do dia requerido ou iluminância.

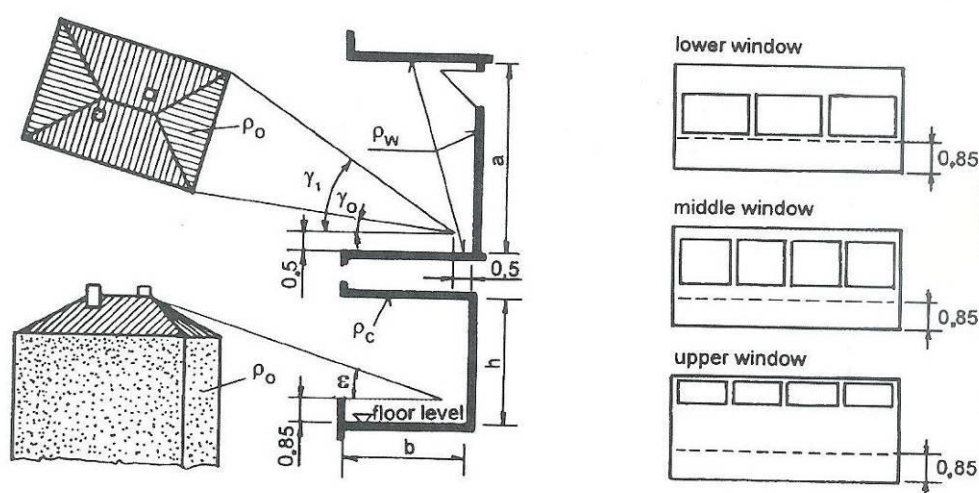


Figura 5.10 – Símbolos usados pelo método generativo (Majoros, 1998)

Descrição do método

A equação fundamental do cálculo é:

$$\frac{DF_{R(min)}}{K\rho \times K_{\tau} \times K_o} = DF_0 \times K_a$$

[eq. 5.7]

1. $FLD_{R(min)}$ é o factor de luz do dia requerido. O seu valor é obtido de uma norma ou código ou da iluminância requerida para a actividade da divisão usando a equação 5.6.
2. K_p é um factor de correcção para reflectâncias internas, cujo valor pode ser retirado do seguinte gráfico:

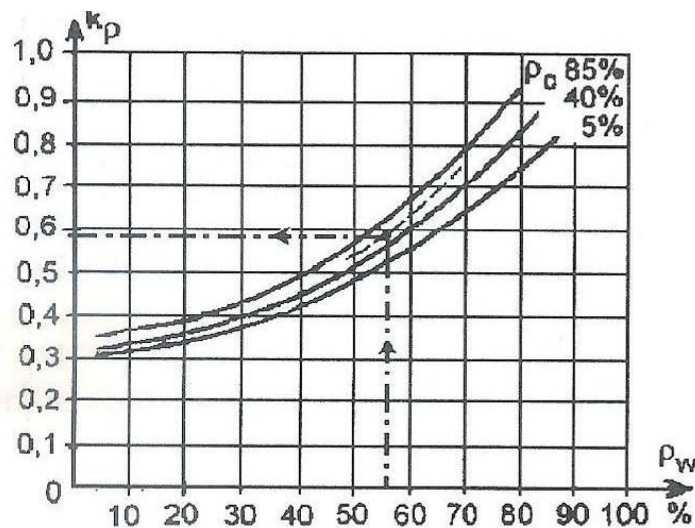


Gráfico 5.1 – Factor de Correcção para Reflectâncias Internas¹

Onde, ρ_c e ρ_w são as reflectâncias do tecto e das paredes (que não contêm janelas);

3. K_τ é um factor de correcção para a estrutura da janela. O seu valor pode ser calculado a partir da seguinte equação:

$$K_\tau = \tau_g \times \tau_f \times \tau_d$$

[eq. 5.8]

Onde, τ_g , τ_f e τ_d correspondem a factores de correcção relativos a encadeamento, caixilharia e efeito de sujidade, respectivamente.

¹ As linhas com setas e pontos demonstram o sentido de leitura do gráfico.

Estes valores encontram-se na tabela abaixo:

Tabela 5.1 – Valores de τ_g , τ_f e τ_d

Glazing	τ_g
flat glass, single pane	0.9
flat glass, double pane	0.8
textured, diffusing reinforced glass	0.6
glass blocks mounted in concrete	0.6
Frame	τ_f
metal frame, single	0.8
metal frame, double	0.65
wooden frame, single	0.75
wooden frame, double	0.5
composite window (Teschauer)	0.8
reinforced concrete window	0.6
glass-concrete opening	0.6
Effect of Dirt / Cleaning	τ_d
non-urban, suburban/regular cleaning	0.9
non-urban, suburban/occasional cleaning	0.7
residential area/regular cleaning	0.8
residential area/occasional cleaning	0.6
industrial area/regular cleaning	0.7
industrial area/occasional cleaning	0.5
it clean state	1

4. K_o é um factor de correcção para a obstrução. O seu valor pode ser calculado a partir da seguinte equação:

$$K_o = 1 - c[K_e \times (K_{\gamma 1} - K_{\gamma 0})]$$

[eq. 5.9]

Onde, c é obtido do gráfico 5.2 (com base em ρ_o – ver figura 5.10)

K_e é obtido do gráfico III.1 do anexo III (com base em ε e h – ver figura 5.10)

$K_{\gamma 1}$ e $K_{\gamma 0}$ do gráfico III.2 do anexo III (com base em γ e a – ver figura 5.10)

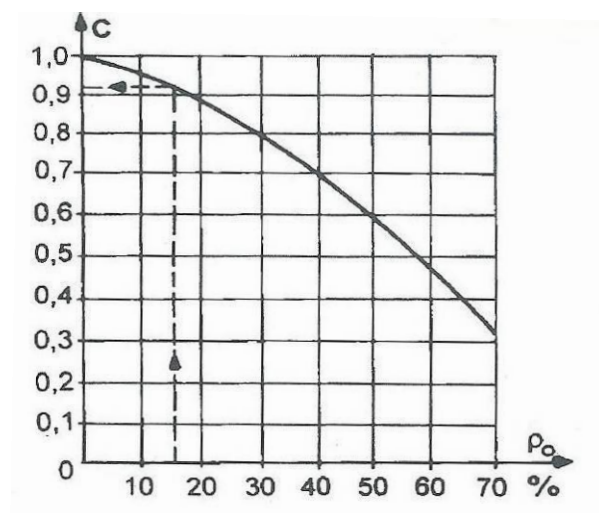


Gráfico 5.2 – Valores de c

5. As incógnitas FLD_o e K_a (um valor inicial para FLD e o termo de correcção para a posição da janela) como função da área relativa da janela (A) podem ser determinadas da seguinte maneira:

Com base na altura da divisão (h), um grupo de diagramas tem de ser escolhido dos gráficos III.3 a III.5 do anexo III.

Os apropriados são:

Se $2,5 \leq h < 3$ m	Gráfico III.3
Se $3 \leq h < 3,5$ m	Gráfico III.4
Se $3,5 \leq h < 4$ m	Gráfico III.4
Se $4 \leq h < 4,5$ m	Gráfico III.5
Se $4,5 \leq h < 5$ m	Gráfico III.5

O objectivo é representar a curva que mostra como o parâmetro FLD depende da área da janela numa divisão de dadas dimensões e localização da janela, isto é, função de $FLD_o \times K_a = f(A)$.

Estes 4 pares de valores de:

$FLD_{o1} \times K_{a1}$

$FLD_{o2} \times K_{a2}$

$FLD_{o3} \times K_{a3}$

$FLD_{o4} \times K_{a4}$

podem ser determinados a partir do gráfico escolhido (III.3 a III.5) segundo o dado diagrama do gráfico III.3 (a parte de cima de cada gráfico dá o FLD e a parte de baixo o valor de K_a).

6. Com os pares de valores acima a curva que representa $FLD_o \times K_a = f(A)$ pode ser desenhada:

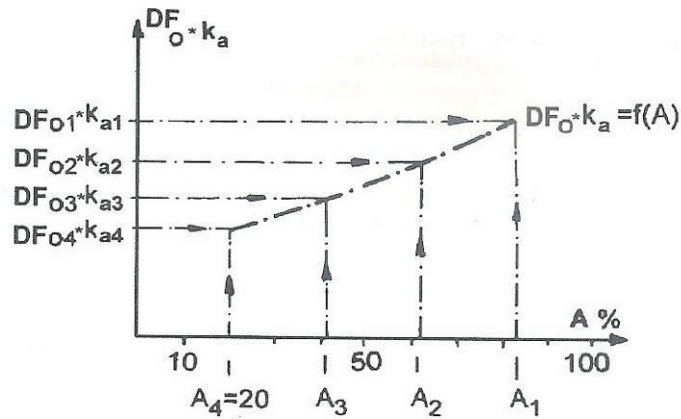


Gráfico 5.3 – Construção da curva $FLD_o \times K_a = f(A)$

7. O último passo é a determinação da área de janela requerida para uma dada divisão.

Com base no valor calculado no lado esquerdo da equação fundamental e a curva apresentada anteriormente,

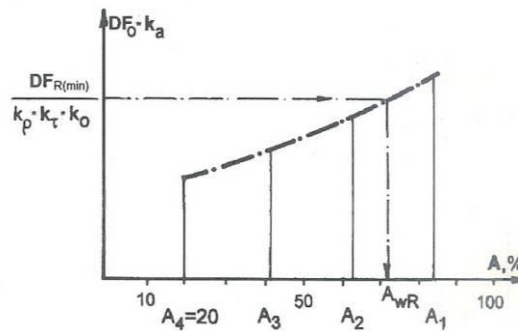


Gráfico 5.4 – Determinação da área relativa A_{WR}

Os pontos de intersecção dão o tamanho relativo requerido da janela A_{WR} em %.

8. Finalmente a área de janela requerida é o produto da área da parede e a área relativa da janela:

$$S_{WR} = \frac{A_{WR} \times h \times a}{100} \quad [m^2]$$

[eq. 5.10]

5.7.2 Método da Eficiência (para iluminação superior)

O método seguinte foi “desenvolvido pelo Majoros” sendo adequado para determinar a área requerida para uma fonte de luz superior na condição de desfrutar do efeito do céu por completo isto é, se vê o céu inteiro.

Dados iniciais:

1. Informação geométrica da divisão (largura a , profundidade b e altura h);
2. Altura do plano de trabalho acima do pavimento, r ;
3. Reflectância média do tecto da divisão (ρ_c), paredes (ρ_w) e pavimento (ρ_f);
4. Tipo de vidro e formato da luz superior;
5. Dimensões internas (p,q,m) e reflectância da luz superior;
6. Poluição (sujidade) da envolvente ambiental do edifício;
7. O factor de luz natural requerido (FLD_R ou iluminância (E_R)).

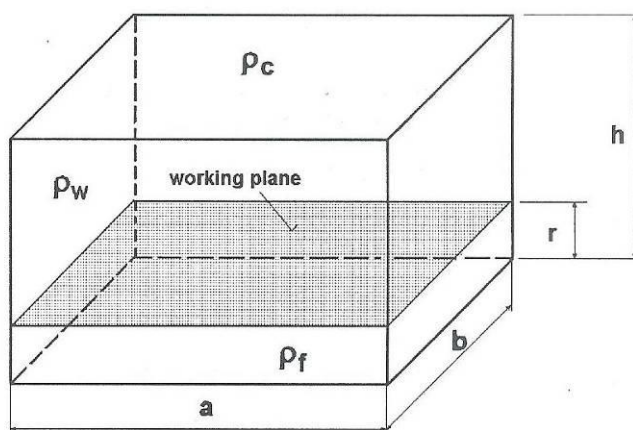


Figura 5.11 – Simbologia usada para a divisão

Descrição do método

A equação fundamental do cálculo é:

$$ST_R = \frac{DF_R}{100} \times \frac{a \times b}{\tau_g \times \tau_s \times \tau_d \times K_w \times \eta} \quad [m^2]$$

[eq. 5.11]

1. FLD_R é o factor de luz do dia requerido. O seu valor é obtido de uma norma ou código ou da iluminância requerida para a actividade da divisão usando a equação 5.6 apresentada anteriormente.

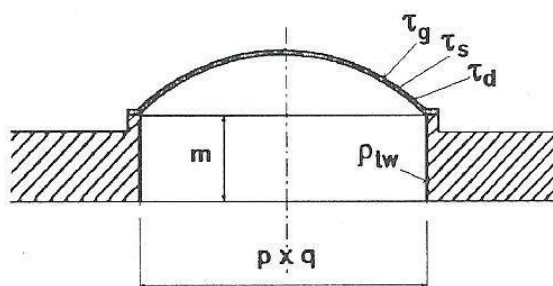


Figura 5.12 – Simbologia usada para a luz superior

2. τ_g é a transmitância da parte transparente da luz superior

Tabela 5.2 – Valores de τ_g

Type of glazing	τ_g
flat glass, single layer	0.9
flat glass, double layer	0.8
wired glass, single layer	0.77
wired glass, double layer	0.63
plastic	0.8

3. τ_s é o coeficiente de obstrução da estrutura

Tabela 5.3 – Valores de τ_s

Structure	τ_s
self supporting without structure	1
metal structure	0.9
wooden structure	0.8
reinforced concrete structure	0.8

4. τ_d é o coeficiente de redução devido à sujidade

Tabela 5.4 – Valores de τ_d

Effect of Dirt / Cleaning	τ_d
non-urban or suburban/regular cleaning	0.8
non-urban or suburban/occasional clean	0.55
residential area/regular cleaning	0.7
residential area/occasional cleaning	0.4
industrial area/regular cleaning	0.55
industrial area/occasional cleaning	0.25
in clean state	1

5. K_w é a eficiência do vão, o seu valor pode ser determinado a partir do índice geométrico do vão (i) e da reflectância das suas superfícies internas (ρ_{tw})

$$i = \frac{m \times (p + q)}{2 \times p \times q}$$

[eq. 5.12]

K_w pode ser retirado do seguinte gráfico:

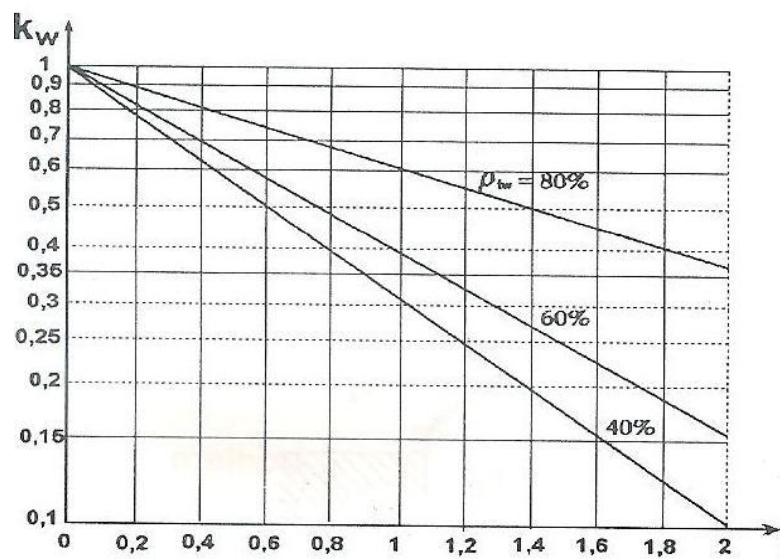


Gráfico 5.5 – Determinação da eficiência do vão

6. η é a eficiência da divisão, a qual pode ser obtida da tabela seguinte com base no índice da divisão RI, da reflectância média do tecto (ρ_c), das paredes (ρ_w) e do pavimento (ρ_f). O índice da divisão pode ser calculado a partir das principais dimensões da divisão

$$RI = \frac{a \times b}{(a + b) \times (h - r)}$$

[eq. 5.13]

Tabela 5.5 – Valores da eficiência da divisão

ρ_f	0.3					0.1			
ρ_c	0.8			0.5		0.8	0.5		0.3
ρ_w	0.8	0.5	0.3	0.5	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3
RI									
0.6	0.63	0.39	0.33	0.39	0.33	0.34	0.37	0.33	0.32
0.8	0.76	0.53	0.45	0.51	0.45	0.45	0.50	0.45	0.44
1	0.88	0.62	0.54	0.60	0.54	0.53	0.58	0.53	0.50
1.25	0.95	0.71	0.63	0.68	0.62	0.62	0.66	0.60	0.60
1.5	1.02	0.78	0.70	0.76	0.69	0.68	0.72	0.68	0.66
2	1.1	0.89	0.81	0.85	0.78	0.77	0.80	0.77	0.74
2.5	1.14	0.96	0.88	0.91	0.85	0.83	0.85	0.82	0.80
3	1.17	1.01	0.94	0.95	0.89	0.87	0.88	0.86	0.84
4	1.21	1.07	1.01	1.00	0.95	0.92	0.93	0.90	0.89
5	1.23	1.12	1.06	1.03	0.98	0.95	0.96	0.93	0.92

7. Estes valores substituídos na equação principal dão a área requerida da luz superior.

Capítulo 6 – Impactes Energéticos

As consequências energéticas directas de uma correcta utilização da iluminação natural têm a ver com a diminuição dos consumos energéticos ao substituir a iluminação artificial; os potenciais ganhos e perdas térmicas através dos vãos envidraçados; os ganhos térmicos devidos aos sistemas de iluminação eléctrica e a diminuição do recurso a sistemas de aquecimento e arrefecimento artificiais. As consequências positivas são relativas à substituição do recurso à iluminação artificial e ao aproveitamento dos ganhos solares através dos vãos envidraçados nos períodos frios. Por outro lado, existem consequências energéticas negativas como eventuais sobreaquecimentos (períodos quentes) ou arrefecimentos excessivos (períodos frios), ambas com implicações ao nível do conforto térmico e/ou consumo energético (Santos, 2007).

A principal troca de calor num edifício acontece, normalmente, pelos elementos transparentes (janelas, clarabóias, e outros elementos transparentes). À semelhança dos elementos opacos, as trocas de calor nos envidraçados são por condução, convecção e radiação existindo a diferença da possibilidade de controlo da troca de ar entre o interior e exterior - abrindo ou fechando. Porém, a radiação é o factor principal pela porção transmitida directamente pelo vidro no interior. Os raios solares (não desejados) ao atravessarem o vidro, transportam o calor (a radiação térmica), alterando o seu comprimento de onda. Deste modo, não conseguem voltar a sair através do vidro, ficando retidos no espaço interior. Este fenómeno ocorre porque o vidro não é transparente aos comprimentos de onda da radiação reflectida pelos diversos elementos construtivos, mobiliário, entre outros.

Como referido anteriormente, a iluminação de um local pode ser efectuada de três modos: apenas com recurso à iluminação natural; apenas com recurso à iluminação artificial; e mediante a combinação e articulação entre a iluminação natural e artificial.

Numa perspectiva de conforto e eficiência energética é desejável que a iluminação dos espaços interiores com utilização humana seja efectuada, preferencialmente, com recurso à luz natural devendo esta ser suplementada por sistemas de iluminação artificial eficazes e flexíveis quando e/ou onde as necessidades de iluminação não possam ser satisfeitas apenas à custa de luz natural.

Do ponto de vista económico, é possível que em muitos casos uma análise conduza a áreas envidraçadas mínimas. Neste caso, já não são, todavia, questões puramente económicas que estão em causa, embora possam também ser expressas dessa forma, mas sim o conforto dos ocupantes. O contacto visual com o exterior é importante e só por si justifica a necessidade de aberturas transparentes. O acréscimo de custo inicial resultante do aproveitamento da luz natural, se existir, deve ser contabilizado entre soluções alternativas assegurando condições de conforto equiparáveis.

6.1 Eficiência Energética

Em 1987, surge pela primeira vez o conceito de Sustentabilidade sendo definido como aquele que satisfaz as necessidades actuais sem comprometer a possibilidade das futuras gerações satisfazerem as suas (Bruntland Report, 1987).

Desde então tem-se vindo a verificar uma tendência ou incentivo à utilização de energia proveniente de fontes renováveis, em detrimento das produzidas por combustíveis fósseis. Apesar do impacte ambiental provocado por estes, pouco se tem feito no sentido de utilizar a iluminação natural, que permite uma redução do consumo eléctrico para iluminação, conseqüente diminuição das cargas internas e eventual utilização ou aumento de potência dos sistemas de refrigeração.

A nível da Europa o aumento dos níveis de conforto térmico e as preocupações com questões de racionamento e eficiência energética, como resultado do aquecimento global, tem infelizmente levado a projectos e sistemas construtivos que tem originado uma redução do acesso à iluminação natural em edifícios do sector residencial (Brotas, 2002). No entanto, na passada década esta tendência foi revertida pois pode ser notado um aumento de áreas envidraçadas nas fachadas de edifícios residenciais em Portugal.

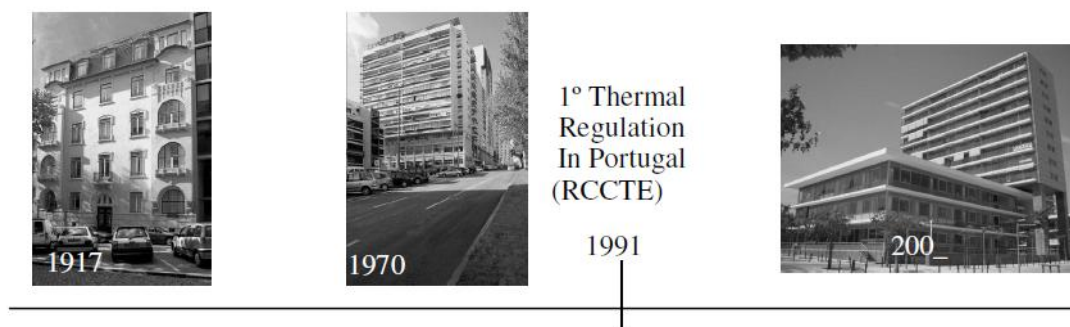


Figura 6.1 - O aumento de áreas envidraçadas nas fachadas de edifícios residenciais nas décadas passadas (Lisboa) (Tavares, 2010)

6.2 Protecção térmica dos vãos envidraçados

As características climáticas têm um papel fundamental na eficiência energética dos edifícios. A iluminação natural disponível num determinado local é função da latitude desse local, das condições meteorológicas prevalentes (em particular a nebulosidade do céu) e do período do dia e do ano.

De uma forma resumida, o clima português pode caracterizar-se, em termos médios, como sendo um clima com Invernos relativamente curtos e moderados e com Verões quentes, secos, longos e soalheiros com predominância de céus limpos ou não encobertos. As estações intermédias apresentam condições climáticas relativamente amenas mas também caracterizadas por uma elevada disponibilidade de luz natural devido à predominância da situação de céus não encobertos. Como pode-se verificar no anexo V, Portugal é um dos países da Europa com maior disponibilidade de radiação solar, o número médio anual de horas de Sol varia entre 2.200 e 3.000 enquanto, por exemplo para a Alemanha varia entre 1.200 e 1.700 h.

Estas características fazem com que o país possua boas condições potenciais para o aproveitamento da luz natural para iluminação dos espaços interiores, mas também podem originar situações potenciais de desconforto térmico (em particular na estação de arrefecimento) o que implica a necessidade de adopção de estratégias de protecção solar eficazes (Carvalho, 1985).

Na escolha da forma de proteger termicamente os vãos envidraçados é necessário ter em consideração o aproveitamento da luz natural sob o risco de pôr os ocupantes perante a alternativa de acender a luz ou suportar desconforto térmico e também visual. Em fachadas a Sul é interessante o uso de palas horizontais, sobre as janelas,

com dimensões apropriadas para impedir a penetração da radiação solar directa no Verão e permiti-la no Inverno.

Com o céu encoberto, palas deste tipo dão origem a alguma redução do valor da iluminação do plano de trabalho perto da parede de fundo e a uma redução maior junto à janela. A primeira é inconveniente mas a segunda é favorável para iluminação de tarefas visuais, pois permite melhorar a uniformidade da iluminação no plano de trabalho.

Uma pala deste tipo deve ser complementada por um dispositivo regulável interior que permita a difusão da luz, designadamente, no Inverno em que a pala não sombreia completamente o vão envidraçado e torna possível a penetração da luz do Sol.

As protecções exteriores são mais vantajosas a nível térmico. Os estores de enrolar não permitem difundir a luz pelo que se aconselha o uso de réguas orientáveis verticais ou horizontais. As réguas horizontais permitem difundir grande parte do fluxo luminoso que nelas incide para cima, tornando possível por reflexão no tecto (de cor clara) uma iluminação difusa de boa qualidade.

Um dos aspectos mais problemáticos está relacionado com o tipo de sistemas de sombreamento e as suas estratégias de controlo. Estes sistemas podem desempenhar funções como protecção contra ganhos solares, controlo do encadeamento, controlo e modelação da iluminação natural, possibilidade de obscurecimento e de ocultação. O principal problema é a articulação e compatibilização destes sistemas como é o caso da protecção contra os ganhos solares e o controlo e modelação da iluminação natural.

A eficiência energética depende da atitude dos ocupantes. Embora, de um modo geral, os ocupantes dos edifícios valorizem bastante as boas condições de iluminação natural e de contacto visual com o exterior, algumas das suas atitudes podem contrariar estes desejos e expectativas. Em particular durante os períodos quentes existe uma forte correlação entre a sensação de conforto térmico e a actuação sobre os dispositivos de protecção solar (quando reguláveis pelos ocupantes como na generalidade dos edifícios de habitação) sendo frequente deparar-se com situações de níveis de iluminação natural insuficientes e ausência de contacto visual com o exterior (com o consequente consumo suplementar de energia eléctrica para iluminação) na tentativa de minorar os efeitos de desconforto térmico. Uma das razões para este facto é a falta de versatilidade e eficácia da grande maioria dos dispositivos de sombreamento.

Capítulo 7 – Estudo de Caso

7.1 *Fracção autónoma em estudo*

O presente estudo incidiu numa fracção autónoma (FA) de um edifício situado localizado no concelho de Cascais. O edifício em causa está inserido na Urbanização Quinta de S. Gonçalo (figura 7.1), freguesia de Carcavelos sendo constituído por um total de 7 pisos (dois pisos abaixo do solo destinados a garagens e cinco pisos acima do solo) e 11 fogos.

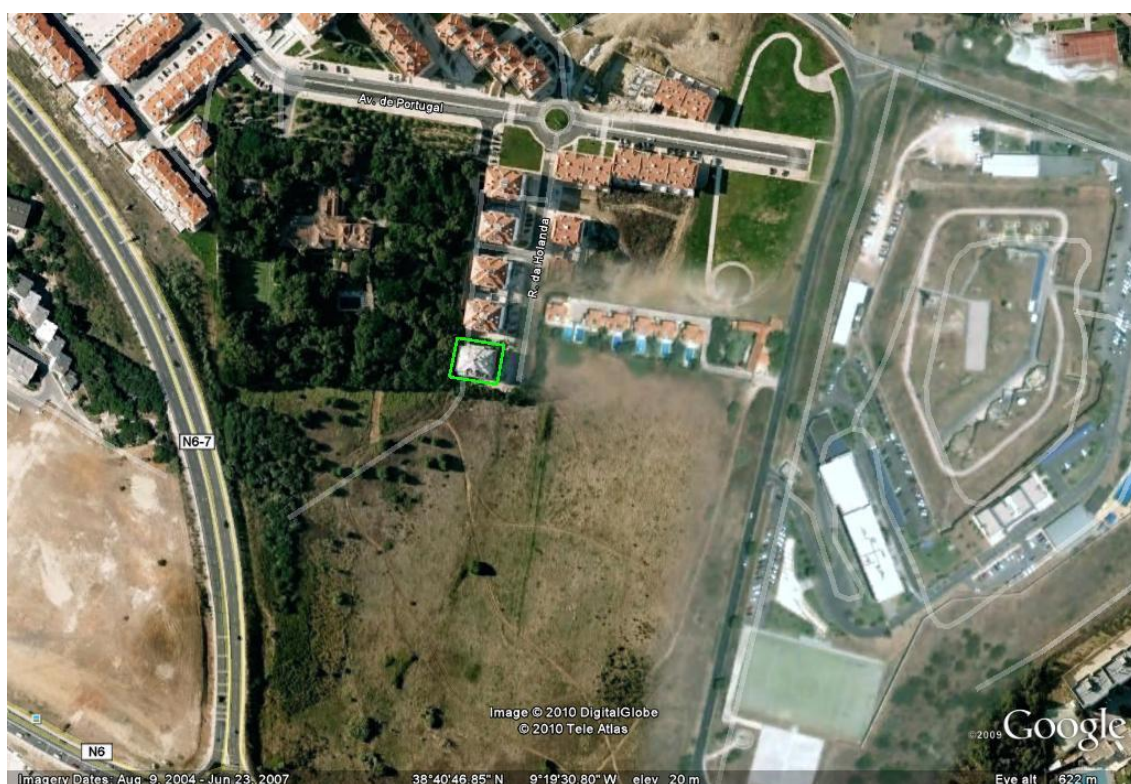


Figura 7.1 - Localização do edifício

Este edifício tem a sua fachada principal orientada a SSW tendo orientado a NNE o seu alçado tardoz. Orientado a ESE temos uma empena exterior cega (figura 7.2) pois não possui qualquer abertura por questões de segurança relativas à entidade adjacente ao edifício. Por sua vez, por questões de privacidade limitam as aberturas da fachada com orientação WNW tendo apenas duas aberturas de pequenas dimensões numa instalação sanitária e num quarto.



Figura 7.2 - Empena exterior cega

No piso térreo existem três fracções autónomas com tipologia T2 e T1 enquanto nos restantes quatro pisos existem duas fracções autónomas com tipologia T3 e T4.

A fracção em estudo é de tipologia T3 com uma área útil de 118.75 m^2 , pé-direito médio de 2.65 m, localizando-se no 4º piso (figura 7.3). Esta FA confronta a WNW com a outra FA do piso, a NNE existe uma obstrução (edifício adjacente semelhante) mas, por outro lado na orientação SSW não existe qualquer obstrução. Por fim, a orientação ESE é a empena exterior cega como referido anteriormente.

Visto a situação comercial da FA encontrar-se para venda faz com que esta esteja desocupada estando apenas a cozinha com a ocupação adjacente ao seu equipamento já instalado (ver fotografias do anexo VI).

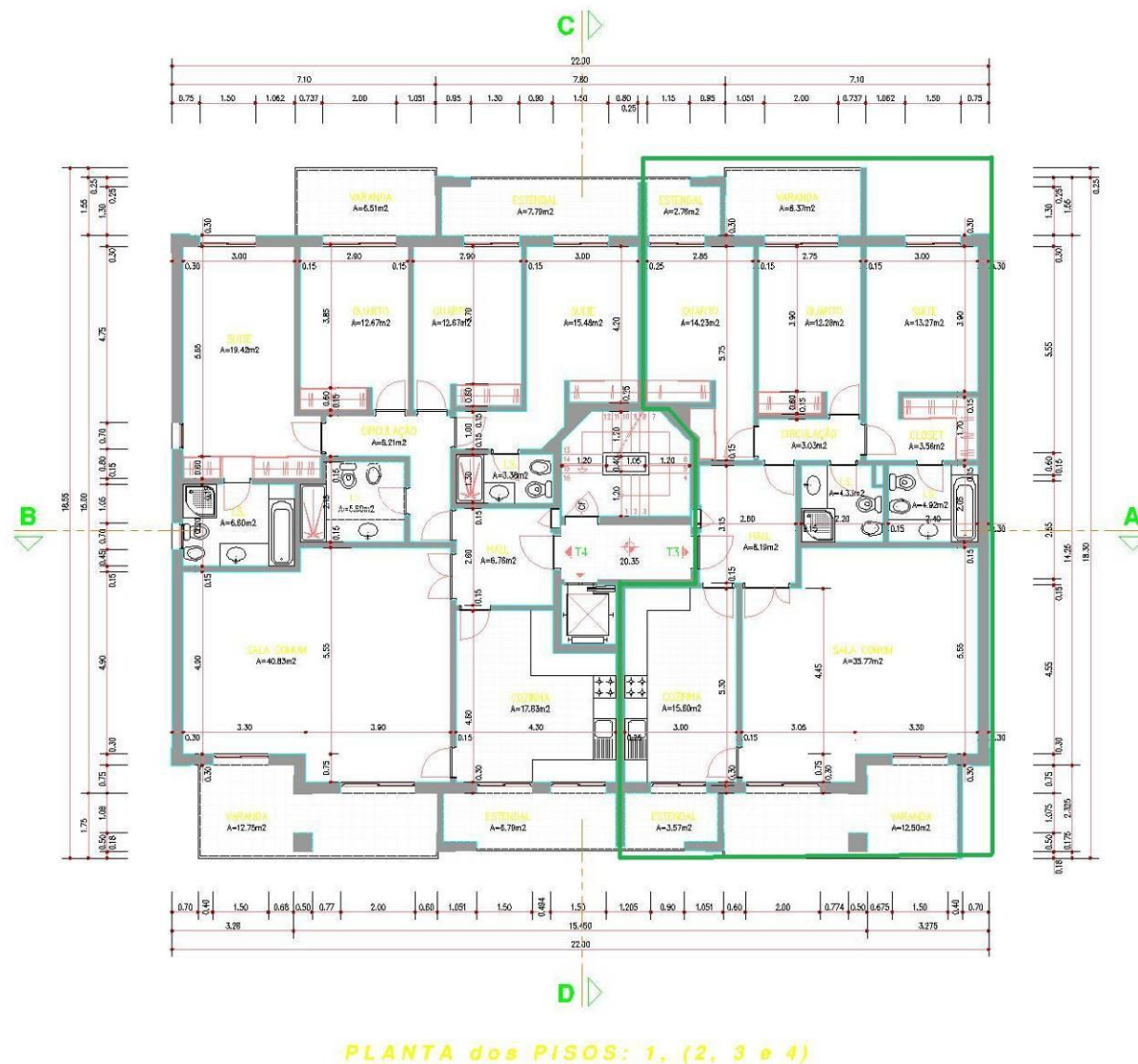


Figura 7.3 – Plano do piso 4

7.2 Modelação da Fracção Autónoma

O objectivo do modelo efectuado visa avaliar o nível de quantidade de iluminação natural bem como a sua qualidade. Deste modo é possível verificar se a quantidade de luz natural é suficiente para a utilização do espaço em causa. Estes valores estão tabelados no subcapítulo 4.2 consoante o tipo de divisão ou tarefa visual a executar.

O programa utilizado para a elaboração do modelo foi o Desktop Radiance. Este programa é uma ferramenta de desenho que facilita a análise e o desenho de edifícios com uma meta de optimização dos sistemas de iluminação natural e artificial. O Desktop Radiance é um *plug-in* que trabalha com o Computer Aided Design (CAD) proporcionando interações e capacidades na modelação em 3D (LBNL, 2002).

Deste modo os procedimentos desta análise iniciam-se com a modelação em 3D da FA com o programa AutoCAD 2000. Nesta fase é importante representar as formas geométricas com o detalhe adequado à análise pretendida, uma representação exhaustiva torna o ficheiro muito lento na altura da análise por parte do programa. O passo seguinte é fornecer as propriedades ópticas dos materiais reais às formas criadas. A maneira mais simples de o fazer é separar as formas criadas por *layers* e atribuir as propriedades a cada *layer* (isto é, um *layer* para cada material), garantindo assim que nenhum material fica com propriedades por atribuir. De seguida e tendo em conta que o objectivo de análise de iluminação natural, a simulação através do programa Desktop Radiance utiliza dados de localização geográfica, da orientação do edifício e do modelo de céu. Os dados usados referem-se à cidade de Lisboa (os valores entre parêntesis são os usados pelo programa pois este utiliza uma escala decimal):

- Latitude 38°42'N (38.7);
- Longitude 9°10'W (9.16);
- Modelo de céu limpo da Commission Internationale de L'Eclairage (CIE).

Foi adoptado o modelo de céu limpo com o fim de investigar o desenvolvimento da luz no espaço ao longo do dia e em diversos meses (solstício de Verão, 21 de Junho; equinócio de Primavera, 21 de Março e solstício de Inverno, 21 de Dezembro). Com base nas figuras 3.1, 3.2 e 3.3 do subcapítulo 3.2 foram escolhidas as 9, 12 e 17 horas para os meses de Março e Junho e as 9, 12 e 15 horas para Dezembro pois estas têm iluminâncias mais altas nos períodos anteriormente indicados consoante as diversas orientações.

Em último lugar é necessário indicar as câmaras (vista do observador) para, após os cálculos do programa, serem fornecidos os resultados (ver figura 7.4). Para uma análise do FLD é obrigatório adoptar um método diferente das câmaras. Para tal, é preciso indicar pontos de referência (pode-se distribuir uma malha de pontos) e utilizar o modelo de céu encoberto da CIE (para mais detalhe ver subcapítulo 5.5.1). Em

ambos os casos, câmara e malha de pontos, foram posicionados a 0.85 m do nível do pavimento.

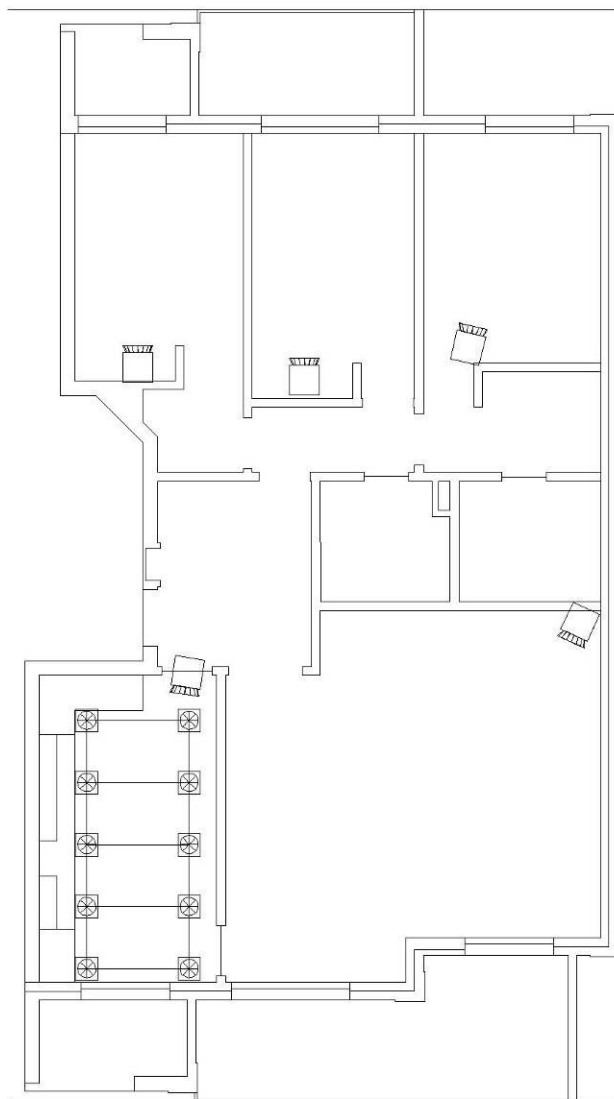


Figura 7.4 – Posição (em planta) das câmaras e da malha de pontos

No quadro 7.1 está representada a correspondência entre os materiais reais aplicados na FA e os materiais da biblioteca do programa Desktop Radiance. Foram escolhidos materiais o mais semelhante possível sendo que por simplificação, no caso do mobiliário da cozinha (cor *wenge* e carvalho) adoptou-se um material com reflectância intermédia. De notar que no anexo VIII estão listados inúmeros materiais com os respectivos valores de reflectância. A partir desta listagem verifica-se que os materiais adoptados pelo programa estão na mesma ordem de grandeza dos valores reais.

Quadro 7.1 - Características físicas e valores de reflectância dos materiais

Superfície	Material	Cor	Material designado
			Reflectância (ρ)
Paredes exteriores dos edifícios	Reboco de cimento com pintura	Branco	Off-white paint (68%)
Paredes interiores	Reboco de cimento com pintura	Amarelo	Yellowish paint (68%)
Tectos	Reboco de estuque com pintura	Branco	Off-white paint (68%)
Pavimento da sala, hall's e quartos	Soalho flutuante	Carvalho	Wood_floor (12.3%)
Pavimento da cozinha e instalações sanitárias	Ladrilho	Cinzenta	Stone_gray (45.54%)
Mobiliário da cozinha	Aglomerado de madeira lacado	Wenge	Gray (30%)
Elementos transparentes	Vidro	-	Clear Glass (88.3%)

Quadro 7.2 - Características físicas e valores de transmitância dos elementos transparentes

Superfície	Material	Material designado
		Transmitância
Elementos transparentes	Vidro	Clear Glass (88.3%)

7.3 Simulações da Fracção Autónoma

7.3.1 Cozinha

Esta divisão tem uma disposição rectangular com uma área útil de 15.60 m², uma abertura com 1.5 x 2.0 m pelo que proporciona uma área envidraçada de 19% em relação à área útil da divisão. Orientada a SSW, esta abertura garante o acesso a uma varanda (designada de estendal) que faculta um sombreamento significativo ao envidraçado. Além desta abertura, a cozinha também recebe uma contribuição de luz natural a partir da porta de acesso à sala.



Figura 7.5 – Modelo da cozinha

Nesta divisão realizou-se o cálculo da iluminância interior através da malha de pontos bem como da câmara. A malha de pontos tem dois eixos perpendiculares à abertura para poder-se comparar os valores de iluminância em relação à distância da abertura. O eixo 1 é o eixo mais próximo do mobiliário da cozinha sendo o eixo 2 o eixo próximo da parede divisória da sala.

Dos gráficos 7.1 e 7.2 conclui-se que o andamento da curva de iluminância em relação à uniformidade, está dentro do normal após comparação com a figura 5.7 do subcapítulo 5.5.2. A curva do eixo 1 pode à primeira vista não parecer dentro da normalidade, mas tem que ter-se em conta a posição do ponto. Este ponto está muito próximo da parede sendo afectado pelo sombreamento provocado por esta. Assim sendo, obtém-se a curva típica para iluminação lateral onde a iluminância decresce rapidamente com a distância à janela.

A ordem de grandeza dos valores de iluminância é aceitável embora esteja um pouco abaixo dos valores pretendidos tendo em conta a actividade desta divisão. No anexo IX estão representados os valores de iluminância e de FLD recomendados para habitação cujo valor é maior relativamente aos dados pelos gráficos.

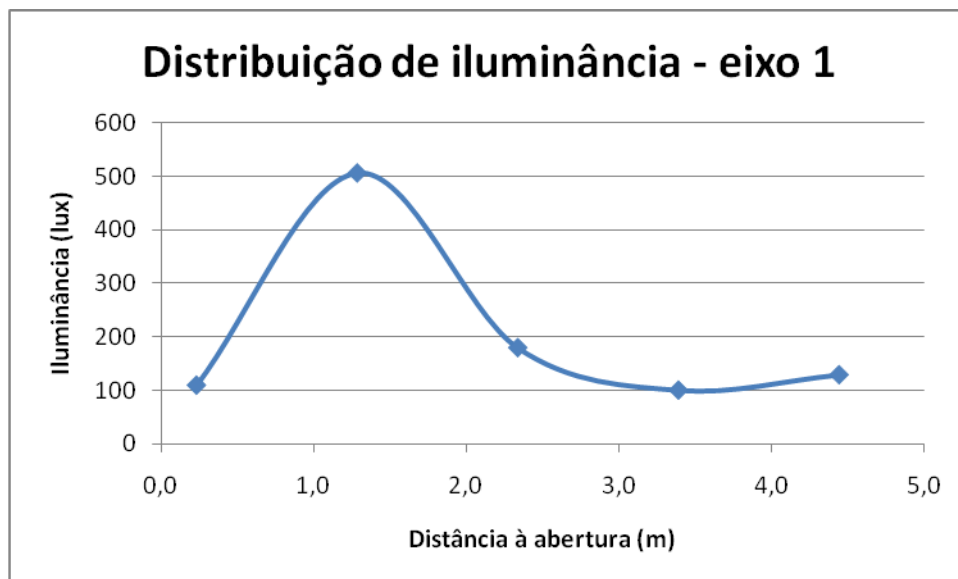


Gráfico 7.1 – Distribuição de iluminância – eixo 1

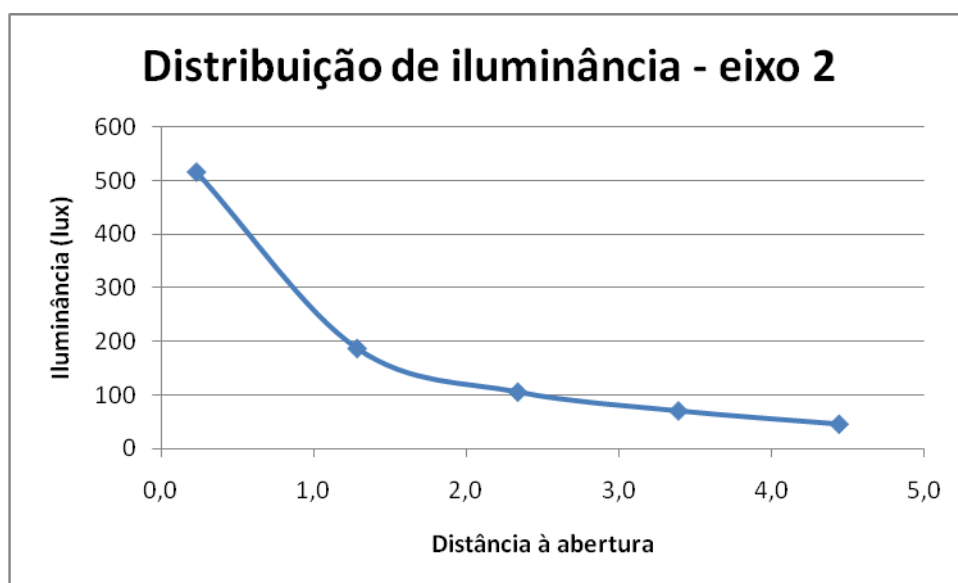


Gráfico 7.2 – Distribuição de iluminância – eixo 2

No anexo X estão representados gráficos com a distribuição de FLD em relação à distância da abertura. Como seria de prever as curvas são semelhantes dada a relação entre as grandezas iluminância e FLD.

O cálculo da iluminância interior através da câmara é obtido através da análise de imagens em *false color*.

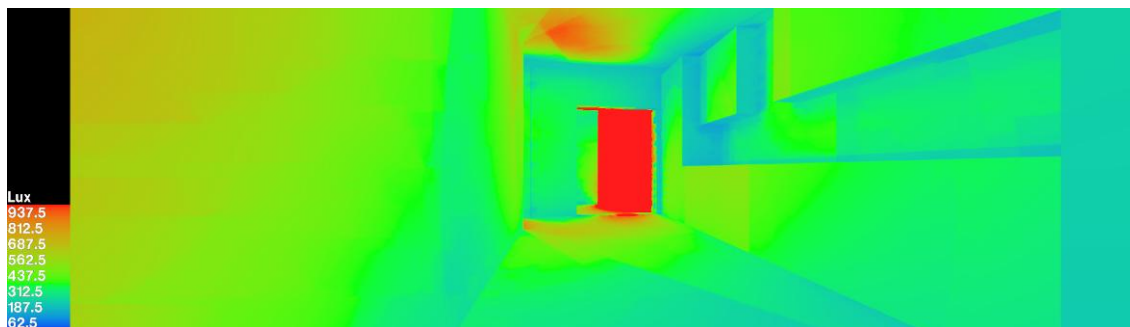


Figura 7.6 – Representação da iluminância da cozinha em *false color*

No anexo XI estão representadas todas as figuras para esta divisão. A partir destas é possível concluir que em todos os dias analisados existe uma variação dos valores de iluminância ao longo do dia. O mês de Dezembro é o que apresenta maiores valores de iluminância devido à radiação solar directa penetrar na divisão, como tal será aconselhável o uso de dispositivos de uniformização (por exemplo cortina interior) com o fim de evitar o encadeamento adjacente. Do lado oposto encontra-se o mês de Junho pois é o mês que apresenta valores mais baixos de iluminância. Este facto deve-se à altura solar ser maior sendo a radiação solar directa obstruída pelas palas existentes próximas à abertura. Este aspecto é de salientar pois ao observar as figuras verifica-se que nos meses com temperatura exterior média mais elevada a radiação solar directa é obstruída enquanto nos meses em que a temperatura exterior média é mais baixa a radiação solar directa não é obstruída, pode-se então concluir que as palas horizontais e verticais próximas à abertura têm o desempenho correcto, estando assim bem projectadas.

7.3.2 Sala

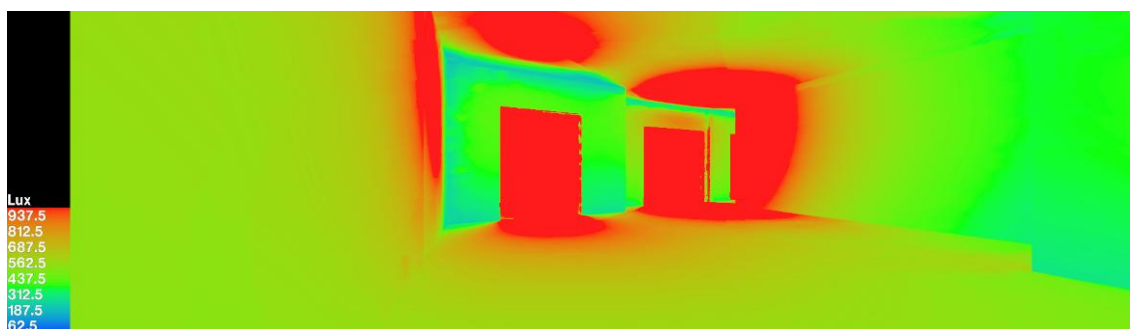
Uma área útil de 35.77 m² faz desta divisão a maior da habitação. A luz natural é admitida pelas duas aberturas (2 x 2 m e 1.5 x 2 m) que compõem esta divisão, tendo ainda a contribuição da abertura da cozinha pela porta de acesso entre ambas as divisões. As aberturas proporcionam uma área útil de envidraçado correspondente a aproximadamente 20% da área útil da divisão e facultam o acesso à varanda. À semelhança da cozinha as aberturas têm a orientação SSW não tendo qualquer sombreamento do horizonte mas possuindo sombreamentos horizontais e verticais.



Figura 7.7 – Modelo da sala

O cálculo da iluminância foi efectuado a partir da câmara cuja visão pode ser observada na figura 7.7. Após análise dos resultados da simulação conclui-se que é novamente preponderante o dimensionamento das obstruções que provocam sombreamento. Tal como na cozinha, verificam-se maiores iluminâncias no mês de Dezembro beneficiando o comportamento energético a partir dos ganhos solares e iluminâncias mais baixas no mês de Junho evitando o sobreaquecimento da divisão. De salientar que mesmo às 9 horas do mês de Junho o nível de iluminância médio é superior ao recomendado (100 lux) para o tipo de ocupação do espaço. Entre as horas estudadas, é às 12 horas que apresentam-se os maiores valores de iluminância indo de acordo com a figura 3.3 do subcapítulo 3.2 pois é a esta hora que a iluminação total, para a orientação Sul e para a região de Lisboa, é maior.

Verifica-se que a reflectância do pavimento tem um papel importante como primeira reflexão da radiação solar incidente no interior da habitação. Como é observado nas figuras em que existe radiação solar directa, o tecto próximo da abertura apresenta valores elevados de iluminância. Uma vez reflectida, a radiação é difundida para o restante espaço da divisão assumindo uma função essencial na uniformidade da iluminância (figura 7.8).

Figura 7.8 – Representação da iluminância da sala em *false color*

7.3.3 Quarto 1

O quarto 1 é o quarto confinante com a fracção autónoma adjacente. Tendo uma área útil de 14.23 m² e uma abertura com 1.5 x 2 m significa que a área envidraçada corresponde a 21% da área útil da divisão. A abertura está orientada a NNE permitindo o acesso a uma varanda. Em relação às divisões anteriores é relevante referir a obstrução de horizonte visível na figura 7.9 (parte a branco) provocada pelo edifício vizinho de dimensões semelhantes ao edifício com FA em estudo.



Figura 7.9 – Modelo do quarto 1

Para análise desta divisão foi novamente utilizada uma simulação de cálculo de iluminância com imagens em *false color*. Pela evolução da iluminação ao longo do dia nos vários meses simulados pode-se concluir que não existe entrada de radiação solar directa na divisão. De todas as simulações efectuadas, este quarto é o que apresenta valores mais baixos de toda a FA, ainda assim em relação ao plano médio de trabalho (0.85 m) verifica-se um nível de iluminância aceitável. Caso o quarto tenha uma alteração de utilização como por exemplo ser transformado em escritório, então os níveis de iluminância são um pouco baixos (figura 7.10).

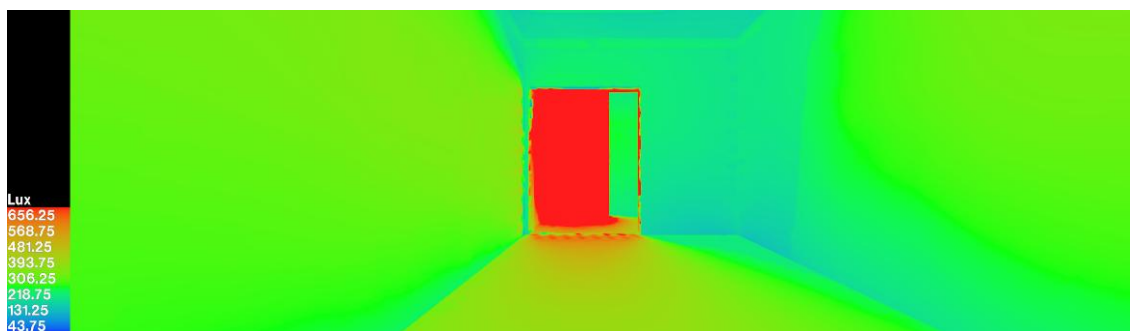


Figura 7.10 – Representação da iluminância do quarto 1 em *false color*

Este quarto tem como principal fonte de iluminação o céu tendo a reflectância do revestimento da parede exterior do edifício vizinho um desempenho fulcral na reflexão da radiação solar. A pala vertical paralela à janela prejudica fortemente a admissão de luz natural. Como presencia-se nas figuras a parede do lado esquerdo da câmara exibe valores de iluminância mais elevados em relação à parede do lado direito onde existe a pala vertical paralela à abertura.

7.3.4 Quarto 2

O quarto 2 é o quarto localizado numa posição intermédia entre o quarto 1 e a suite. Ao contrário da sala, esta é a divisão com a área útil menor (12.28 m^2). A abertura existente neste compartimento é orientada a NNE e tem uma dimensão de $2 \times 2 \text{ m}$, equivalente a uma área de 32.6% em relação à área útil da divisão sendo este valor o mais elevado de todas as divisões. A abertura garante o acesso à varanda que, tal como o edifício vizinho provoca sombreamentos.



Figura 7.11 – Modelo do quarto 2

Como seria expectável, após a análise da simulação da câmara, esta é a divisão que apresenta maiores valores de uniformidade de iluminância. Este facto acontece devido há relação entre a área da abertura e a área da divisão bem como a posição da abertura. Os valores de iluminância têm o seu valor mais baixo no mês de Junho e o valor mais alto no mês de Dezembro (figura 7.12). Pela observação das imagens em false color comprova-se que, caso exista radiação solar directa a incidir no interior da divisão deverá ser diminuta pois a iluminância do tecto é baixa logo, a reflexão da radiação solar no pavimento é reduzida. Por fim, é destacável que, para todas as imagens, a parede do lado direito da câmara, revela valores de iluminância mais elevados. Esta evidência é fruto da obstrução vertical do lado direito da abertura estar mais próxima desta, provocando assim maior obstrução à luz natural do lado oposto.

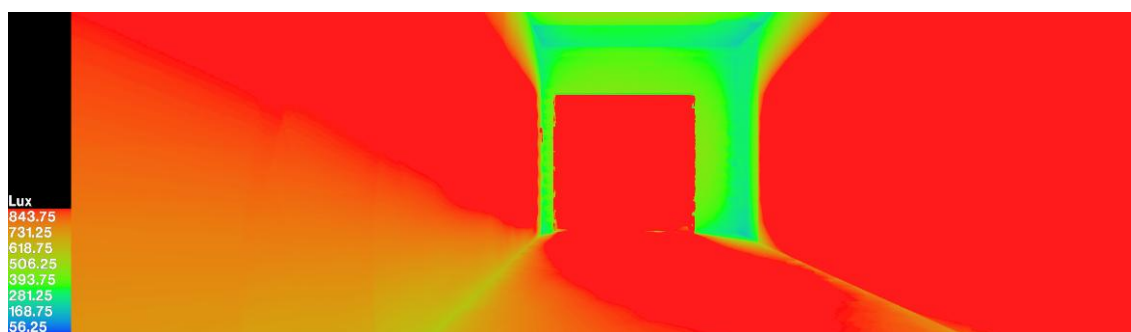


Figura 7.12 – Representação da iluminância do quarto 2 em *false color*

7.3.4 Suite

A última divisão a ser analisada é a suite. Esta é constituída por uma área útil de quarto com 13.27 m², um closet com 3.56 m² e uma instalação sanitária com 4.92 m². A abertura existente tem uma orientação NNE, dimensão de 1.5 x 1.10 m com uma pala vertical do lado esquerdo. A área da abertura corresponde a 9.8% em relação à área útil da divisão (a área da instalação sanitária não é contabilizada pois não é passível de ser iluminada por esta abertura).



Figura 7.13 – Modelo da suite

Do estudo das imagens em *false color* representativas da variação de iluminância verifica-se que o plano com melhores iluminâncias está mais elevado em relação aos dados até aqui observados. Tal acontecimento prende-se com o facto de a posição da abertura ter uma elevação de 0.90 m enquanto as restantes aberturas da fracção autónoma são até ao pavimento. Visto a abertura ter uma orientação a NNE e as obstruções quer vertical quer do horizonte estarem ambas do lado esquerdo da câmara vai provocar, devido às reflexões, um aumento de iluminância do lado direito da câmara. Também devido ao bloqueio das reflexões externas por parte da pala

vertical, os valores de iluminância para as 17h dos meses de Março e Junho e para as 15h do mês de Dezembro são mais baixos quando comparados com as variações ao longo do dia.

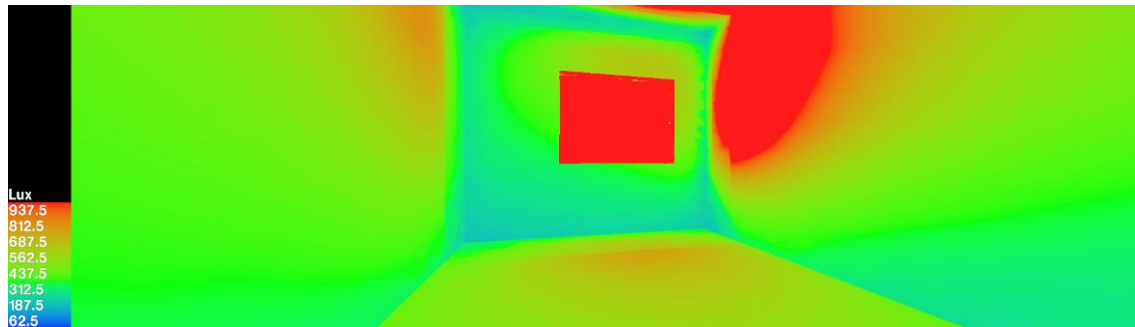


Figura 7.14 – Representação da iluminância da suite em *false color*

7.4 Solução Apresentada

Com base nos valores obtidos nas simulações da análise de iluminâncias foram elaboradas soluções visando melhorar o nível de qualidade e quantidade de iluminação natural.

7.4.1 Cálculo de Áreas de Janelas

Nesta solução foi aplicado o cálculo de áreas de janelas do subcapítulo 5.7.1 tendo sido obtidos os seguintes resultados:

Quadro 7.3 – Áreas de janelas

Divisão	Área de Janela (m ²)	Dimensão da Janela (m)
Cozinha	4.42	2.21 x 2
Sala	6.24	1.56 x 2 (cada janela)
Quarto 1	1.60	0.80 x 2
Quarto 2	1.72	0.86 x 2
Suite	4.13	2 x 2

No anexo XII encontram-se explicitados os cálculos da área pretendida para a sala. As restantes divisões foram calculadas de forma análoga.

7.4.2 Modelação e Simulação

Após construção de novo modelo com a alteração das dimensões das áreas das aberturas (ver anexo XIII) efectuaram-se as mesmas análises de FLD e iluminância através das câmaras.

Na cozinha, em relação ao estudo a partir da malha de pontos verifica-se que os valores de iluminâncias são mais elevados (gráfico 7.3 e 7.4). Fruto do aumento da área da abertura é possível obter iluminâncias maiores fazendo-se sentir especialmente nas zonas mais afastadas da abertura.

Embora a posição dos pontos da malha não tenha mudado agora temos um gráfico típico de distribuição de iluminância mais correcto pois o primeiro ponto do eixo 1 já não está sombreado pela parede da abertura devido ao aumento da área da abertura.

Os gráficos de distribuição de FLD para esta malha de pontos podem ser visualizados no anexo XIV.

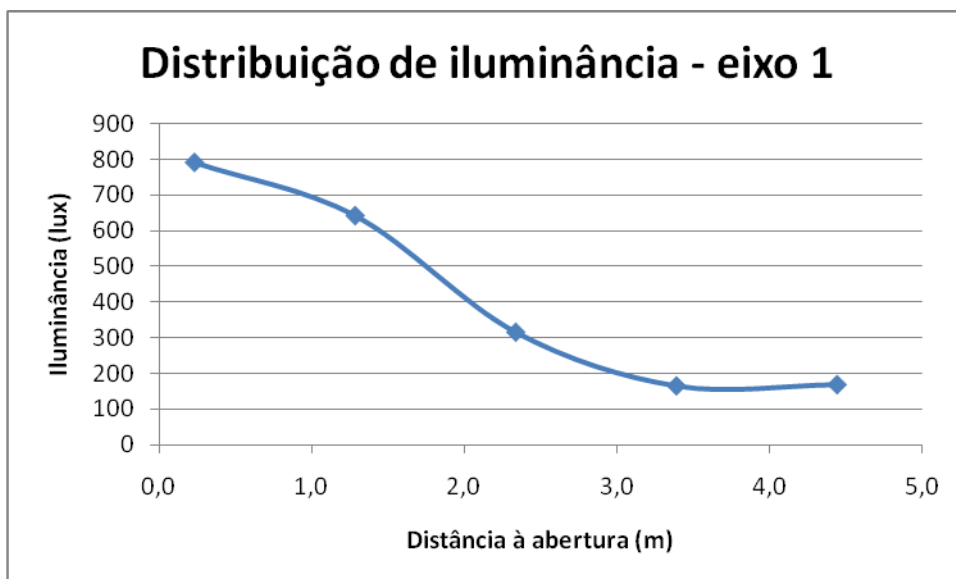


Gráfico 7.3 – Distribuição de iluminância – eixo 1 (solução apresentada)

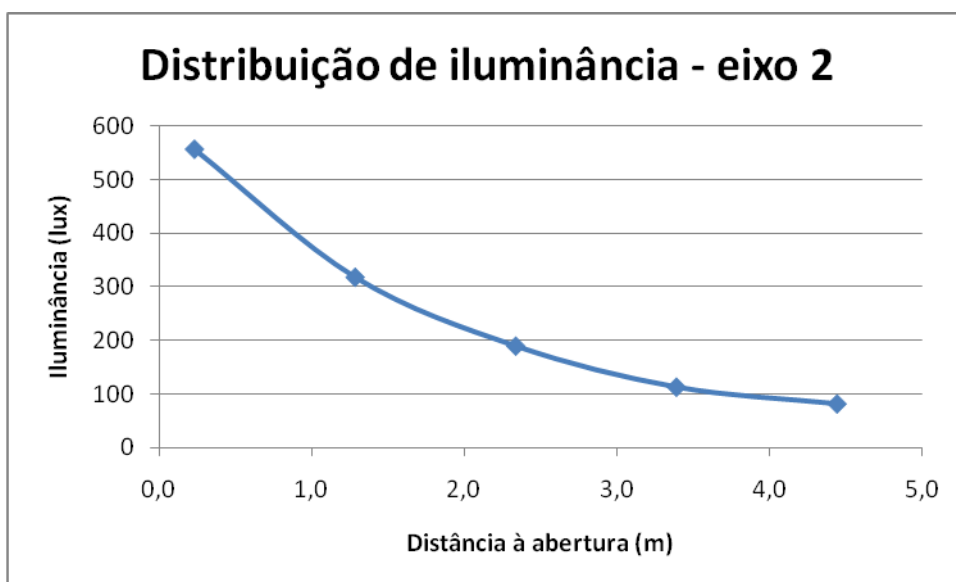


Gráfico 7.4 – Distribuição de iluminância – eixo 2 (solução apresentada)

Relativamente à simulação realizada pela câmara através de imagens em *false color* (anexo XV) observa-se que para as divisões cozinha e sala apenas presencia-se a um aumento da iluminância de uma forma global sendo proporcional ao aumento da área de abertura. Por outro lado, nos quartos e na suite as diferenças são bem mais significativas. Ao utilizar os resultados desta forma de cálculo de áreas de aberturas obtém-se, para o quarto 1 e 2 áreas de aberturas menores provocando uma diminuição de iluminância. Esta redução faz com que as iluminâncias das zonas mais

afastadas da abertura deixem de estar nos parâmetros recomendados sendo aconselhável a manutenção das áreas anteriores para estas duas divisões.

Em relação à suite, esta nova análise contempla um aumento da área de abertura em cerca de 2.5 vezes o que é um valor bastante elevado. Com a nova área obtém-se iluminâncias elevadas ao longo de todo o ano pelo que é essencial o uso do dispositivo de protecção da abertura.

7.5 Ganhos Solares

Para a FA em estudo foram elaborados os cálculos necessários à certificação energética de edifícios existentes tendo sido adoptado o Despacho n.º 11020/2009 visto este método ser mais expedito e suficiente para a análise pretendida.

Com base neste método de cálculo pretende-se determinar os ganhos solares brutos de cada envidraçado bem como o total da FA. O Quadro 7.4 é retirado da Folha de Cálculo FC IV.1e (ganhos úteis na estação de aquecimento) onde está representado o cálculo das áreas efectivas de todos os envidraçados da habitação.

Quadro 7.4 – Cálculo da área efectiva (aquecimento)

Folha de Cálculo FC IV.1e

Ganhos Úteis na estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m²)	Factor de Orientação X(-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs(-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m²)
N	Duplo incolor	3,00	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,32
N	Duplo incolor	4,00	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,43
N	Duplo incolor	1,65	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,18
S	Duplo incolor	3,00	1,00	0,63	0,27	0,70	0,90	0,32
S	Duplo incolor	3,00	1,00	0,63	0,27	0,70	0,90	0,32
S	Duplo incolor	4,00	1,00	0,63	0,45	0,70	0,90	0,71

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m ²)		2,28
		x
Radiação Incidente num envidraçado a Sul (G _{sul})		
no	Continente	
na Zona I	1	(kWh/m ² .mês) - do Quadro 8 (Anexo III)
		108,00
		x
Duração da Estação de Aquecimento	(meses)	6,00
		=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)		1480,26

Figura 7.15 – Cálculo dos ganhos solares brutos totais

A partir da área efectiva é simples calcular os ganhos solares brutos pois basta multiplicar pelo valor da radiação incidente num envidraçado a Sul (G_{Sul}, quadro III.8 do anexo III do RCCTE) e de seguida multiplicar novamente pela duração da estação de aquecimento (em meses, quadro III.1 do RCCTE).

Deste modo, foi obtido o resultado para os ganhos solares brutos totais, na estação de aquecimento, de 1480,3 kWh/ano.

Na tabela seguinte estão diferenciados os contributos de cada envidraçado a nível de ganhos solares brutos.

Tabela 7.1 – Cálculo dos ganhos solares brutos por envidraçado (aquecimento)

Envidraçado	Área (m ²)	Área efectiva (m ²)	Ganhos solares brutos (kWh/ano)	Ganhos solares brutos (kWh/mês)
Cozinha	3,00	0,32	207,4	34,6
Sala 1	3,00	0,32	207,4	34,6
Sala 2	4,00	0,71	460,1	76,7
Quarto 1	3,00	0,32	207,4	34,6
Quarto 2	4,00	0,43	278,6	46,4
Suite	1,65	0,18	116,6	19,4

O Quadro 7.5 é retirado da Folha de Cálculo FC V.1d (ganhos solares pelos envidraçados exteriores) onde está representado o cálculo dos ganhos solares brutos para a estação de arrefecimento.

Quadro 7.5 – Cálculo da área efectiva (arrefecimento)

Folha de Cálculo FCV.1d						
Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores						
POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL						
Orientação	N	N	N	S	S	S
Tipo de Vidro	Duplo	Duplo	Duplo	Duplo	Duplo	Duplo
Área, A (m ²)	3,00	4,00	1,65	3,00	3,00	4,00
	x	x	x	x	x	x
Factor solar do vão envidracado ⁽¹⁾	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
	x	x	x	x	x	x
Fracção envidraçada, Fg	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	x	x	x	x	x	x
Factor de obstrução. Fs ⁽²⁾	0,900	0,900	0,900	0,714	0,714	0,714
	x	x	x	x	x	x
Factor de selectividade do vidro, Fw	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
	=	=	=	=	=	=
Área efectiva, Ae	0,47	0,62	0,26	0,37	0,37	0,49
	x	x	x	x	x	x
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²) (Quadro	200,00	200,00	200,00	380,00	380,00	380,00
	=	=	=	=	=	=
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	93,21	124,29	51,27	140,51	140,51	187,34
						TOTAL
						737,12
						(kWh)

Deste modo, foi obtido o resultado para os ganhos solares brutos totais, na estação de arrefecimento, de 737,1 kWh.

Na tabela seguinte estão diferenciados os contributos de cada envidraçado a nível de ganhos solares brutos.

Tabela 7.2 – Cálculo dos ganhos solares brutos por envidraçado (arrefecimento)

Envidraçado	Área (m ²)	Área efectiva (m ²)	Ganhos solares brutos (kWh)	Ganhos solares brutos (kWh/mês)
Cozinha	3,00	0,37	140,6	35,2
Sala 1	3,00	0,37	140,6	35,2
Sala 2	4,00	0,49	186,2	46,6
Quarto 1	3,00	0,47	94,0	23,5
Quarto 2	4,00	0,62	124,0	31,0
Suite	1,65	0,26	52,0	13,0

A nível de ganhos solares brutos constata-se que a estação de aquecimento tem maiores ganhos (1480,4 kWh/ano) em relação à estação de arrefecimento (737,1

kWh). No entanto estes valores não devem ser comparados em ordens de grandeza diferentes.

A coluna respeitante aos ganhos solares brutos (kWh/mês) foi criada para termos comparativos entre as estações de aquecimento e arrefecimento. Enquanto os ganhos solares brutos na estação de aquecimento são dados em kWh/ano, na estação de arrefecimento são dados em kWh pois de acordo com o RCCTE a estação de arrefecimento “é o conjunto de quatro meses de Verão (Junho, Julho, Agosto e Setembro) (...)”. Por sua vez, a estação de aquecimento varia de concelho para concelho sendo que no concelho de Cascais toma um valor de 6 meses.

Comparando os valores de cada envidraçado para as diferentes estações verifica-se que os valores são relativamente semelhantes à excepção dos envidraçados com maiores áreas tendo valores superiores para a estação de aquecimento. O envidraçado com dimensão 2 x 2 m da sala é o que tem mais ganhos solares brutos, em ambas as estações. Opostamente, o envidraçado da suite com dimensão 1.5 x 1.1 m é o que apresenta valores mais baixos.

Capítulo 8 – Conclusões

Neste capítulo apresentam-se as conclusões alcançadas ao longo deste percurso tendo sempre como meta a promoção de um equilíbrio entre as exigências qualitativas e quantitativas relativas a iluminação natural e aos ganhos solares.

Deste modo, para uma correcta avaliação dos requisitos da iluminação natural procedeu-se a simulações computacionais. Estas são uma ferramenta de apoio essencial ao projecto no entanto, é preciso lembrar a necessidade de conhecimentos aprofundados e do correcto controlo do programa. É indispensável perceber qual a importância que cada elemento do ambiente em estudo possui pois nas simulações são efectuadas diversas simplificações que caso não sejam adequadas deturpam os resultados obtidos.

O programa de simulação Desktop Radiance destaca-se principalmente pelos resultados alcançados pois a sua fiabilidade e precisão são muito bons. Isto acontece devido aos inúmeros parâmetros que podem ser controlados pelo utilizador, à extensa biblioteca de materiais, à escolha do tipo de céu da CIE, entre outros factores.

Por outro lado, revela extrema complexidade no seu funcionamento não existindo a documentação necessária e desejável visto que praticamente apenas existe o manual de funcionamento onde são apresentados os comandos deste programa.

Assim sendo, a aprendizagem neste programa é um processo moroso e demasiado repetitivo devido aos constantes bloqueios provocando sempre o reinício do método mas tendo em conta os resultados qualitativos e quantitativos fornecidos pelo programa, sem dúvida que é um esforço que tem os seus frutos.

Após análise dos valores obtidos pelo programa para o modelo do caso de estudo apresentado anteriormente constata-se que são diversos os factores condicionantes de uma boa iluminação natural.

Apesar da fracção autónoma em estudo só ter aberturas nas orientações NNE e SSW é possível verificar as variações de iluminância em azimuth. A cozinha e a sala (divisões com aberturas orientadas a SSW) apresentam valores de iluminância superiores aos quartos e suite (divisões com aberturas orientadas a NNE). Ainda assim, esta discrepância é mitigada pelo facto do revestimento exterior do edifício vizinho ter uma reflectância elevada permitindo maiores iluminâncias para orientação NNE.

A reflectância dos materiais próximos das aberturas tem um papel fulcral na uniformidade dos níveis de iluminância. Tal é devido ao facto de a radiação solar incidir directamente nas superfícies sendo reflectida e consequentemente difundida para os espaços mais distantes das aberturas.

Visto a fachada com orientação SSW não estar obstruída esta recebe uma forte insolação. Estes ganhos solares são benéficos na estação de Inverno pois têm um impacte energético significativo mas são indesejados na estação de Verão por provocarem sobreaquecimento. A partir deste ponto é perceptível o enorme desempenho que as obstruções verticais e horizontais aqui representam.

As aberturas da sala possuem ângulos de palas verticais entre os 45° e os 66° e ângulos de palas horizontais entre os 50° e 60° sendo estes extremamente eficientes pois bloqueiam a radiação solar directa na estação de Verão e permite a incidência desta na estação de Inverno potenciando ao máximo os ganhos solares. Por seu lado, a cozinha já não tem um comportamento semelhante à sala devido à pala existente ser paralela à abertura, prejudicando os níveis de FLD, que deveriam ser maiores.

Para a orientação SSW, o mês de Dezembro é o que apresenta maiores valores de iluminância. Como referido no parágrafo anterior este facto deriva da radiação solar directa penetrar na divisão. Um aspecto muito relevante a ser considerado é o conforto visual dos ocupantes. Com o fim de este ser garantido, são recomendados valores de iluminâncias consoante a função da divisão. Por esta orientação apresentar elevados valores de iluminâncias, devem ser previstos dispositivos que evitem o encadeamento como é o caso de cortinas.

Com a intenção de melhorar a iluminação natural da FA foi simulado um novo modelo com áreas de aberturas diferentes em relação ao modelo existente. As áreas calculadas pelo método generativo mostraram-se adequadas cumprindo os requisitos necessários para uma boa iluminação. É importante referir que o cálculo através do método generativo tem uma margem de erro considerável pela dificuldade adjacente à correcta leitura dos valores dos gráficos.

Pela análise efectuada pela malha de pontos obteve-se uma curva de iluminância que seria a esperada pois é notório a diminuição de iluminância com o aumento de distância à abertura.

Por fim, conclui-se que este processo de análise realizada deve ser aplicado na fase de projecto permitindo a estes uma previsão eficaz das diferentes soluções devendo optar pela mais adequada. Para o caso de edifícios existentes, as intervenções de reabilitação devem melhorar o conforto visual dos ocupantes e mitigar eventuais anomalias decorrentes do mau desempenho das aberturas.

Referências Bibliográficas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais - Projeto 02:136.01-001/1:2005.

ATIF, M. R.; LOVE, J. A.; LITTLEFAIR, P. (1997) - Daylighting Monitoring Protocols & Procedures for Buildings. Task 21 / Annex 29: Daylight in Buildings. International Energy Agency.

BAKER, N.; FRANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. (1993) - Daylight in architecture: A European Reference Book. London. James & James.

BAKER, N.; STEEMERS, K. (2002) – Daylight Design of Buildings. Londres. James & James.

BARRET, R. (2008) – Natural Lighting of Deep Architectural Space: The Perception of New Zealand Architects. Volume 2 - Issue 2 – pages (103-124). Archnet-IJAR, International Journal of Architectural Research.

BARRET, R. (2009) – The Case for Daylighting in Architecture. Volume 3 - Issue 2 – pages 06-21. Archnet-IJAR, International Journal of Architectural Research.

BARTOLOMEU, M. (2003) – Pós-Graduação em Higiene e Segurança no Trabalho, Módulo VII – Higiene no Trabalho, Iluminação no Local de Trabalho. Instituto Superior de Línguas e Administração - Santarém.

BERTOLOTI, D. (2007) – Iluminação Natural em Projetos de Escolas: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia (Dissertação apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo). São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

BROTAS, L.; WILSON, M. (2002) – Iluminação Natural no Espaço Urbano. XI Congresso Ibérico e VI Congresso Ibero-Americano de Energia Solar – Vilamoura, Portugal. Sem Edição.

BRUNTLAND REPORT (1987) – The Report of the Bruntland Commission, Our Common Future. Oxford University Press.

CARVALHO, L. (1987) - A envolvente dos edifícios e a iluminação natural. Lisboa. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

CARVALHO, L. (1985) - Iluminação natural no projecto dos edifícios. Lisboa. LNEC.

CARVALHO, L. (1995) - Iluminação natural e radiação solar no projecto da fenestração (Programa de Investigação apresentado a concurso para provimento na categoria de Investigador-Coordenador). Lisboa. LNEC.

COUTINHO, M. (2009) – Avaliação das Condições de Iluminação Natural através de Simulações em Modelos Virtuais: O Estudo de Caso da Reitoria da Universidade Nova de Lisboa (Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitectura). Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.

CUNHA, M. (2005) – Vãos Envidraçados. Optimização do Dimensionamento de Elementos de Protecção Solar. Tecnologia de Fachadas, X Mestrado em Construção de Edifícios. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril. Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE).

Despacho n.º 11020/2009 de 30 de Abril. Método de Cálculo Simplificado para a Certificação Energética de Edifícios Existentes no âmbito do RCCTE.

EICKER, U. (2003) - Solar Technologies for Buildings. Stuttgart. John Wiley & Sons Ltd.

GONZÁLEZ, F. (2004) - Arquitectura Bioclimática En Un Entorno Sostenible. Munillaloría. 1ª Edição.

HOPKINSON, R.G., PETHERBRIDGE, P. e LONGMORE, J. (1975) - "Iluminação Natural". Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian.

ISO 8995:1989 - Principles of visual ergonomics - The lighting of indoor work systems.

KIM, J. T.; KIM, G. (2009) - Luminous impact of balcony floor at atrium spaces with different well geometries. Building and Environment 45, pages 304 – 310. Elsevier.

KIM, J. T.; KIM, G. (2009) - Healthy-daylighting design for the living environment in apartments in Korea. Building and Environment 45, pages 287 – 294. Elsevier.

KIM, J. T.; KIM, G. (2009) - Overview and new developments in optical daylighting systems for building a healthy indoor environment. Building and Environment 45, pages 256 – 269. Elsevier.

LBNL (2000). Desktop Radiance: Quick-start Tutorial. Lawrence Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, Building Technologies Department.

LBNL (2002). Desktop Radiance: User Manual. Lawrence Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, Building Technologies Department.

LECHNER, N. (2001) - Heating, Cooling, Lighting : Design Methods for Architects. John Wiley & Sons, Inc. (US).

MAJOROS, A. (1998) – Daylighting. PLEA: Passive and Low Energy Architecture International. University of Queensland.

MALDONADO, E.; YANNAS, S. (1998) – Environmentally Friendly Cities. Proceedings of PLEA 98, Passive and Low Energy Architecture. Lisbon, Portugal. James & James.

MENDONÇA, P. (2005) – Habitar sob uma segunda pele. Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados (tese de doutoramento em Engenharia Civil). Guimarães. Universidade do Minho.

MUNEER, T. (2004) - Solar Radiation and Daylight Models. Oxford. Elsevier.

PHILLIPS, D. (2004) – Daylighting: Natural Light In Architecture. Amsterdam: Elsevier.

SANTOS, A. (2007) - A iluminação nos edifícios. Uma abordagem no contexto da sustentabilidade e eficiência energética. Lisboa. LNEC.

SANTOS, S. D. (2010) - Análise do uso da energia na FCT-UNL (edifícios II, VII, VIII, IX e X) e estudo dos comportamentos relativos ao uso da energia (Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil Gestão e Sistemas Ambientais). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

SILVA, A.; MALATO, J. (2007) - Geometria na insolação de edifícios. Lisboa. LNEC.

STOKES, M.; RYLATT, M.; LOMAS, K. (2003) - A simple model of domestic lighting demand. Institute of Energy and Sustainable Development, De Montfort University, The Gateway, Leicester. Elsevier.

TAVARES, M.; GONÇALVES, H.; BASTOS, J. (2010); - Thermal Performance of Residential Buildings with Large Glazing Areas in Temperate Climate. Chapter 5: Monitoring and evaluation. Sem Edição.

Anexo I – Panorâmica Solar para a Latitude de Lisboa

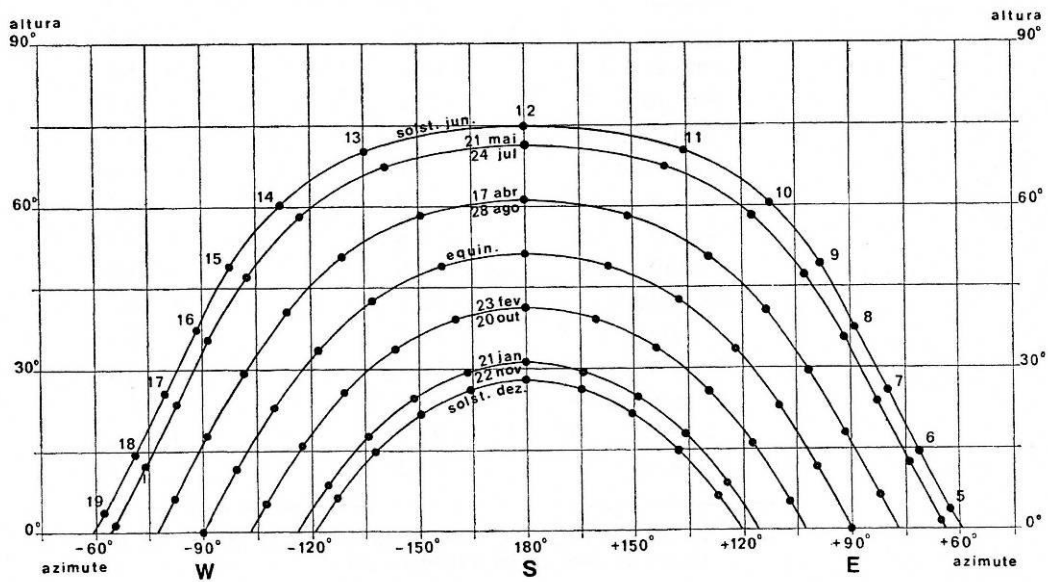


Figura I.1 - Panorâmica Solar para a Latitude de Lisboa (Silva et al, 2007)

Anexo II – Cartas Solares

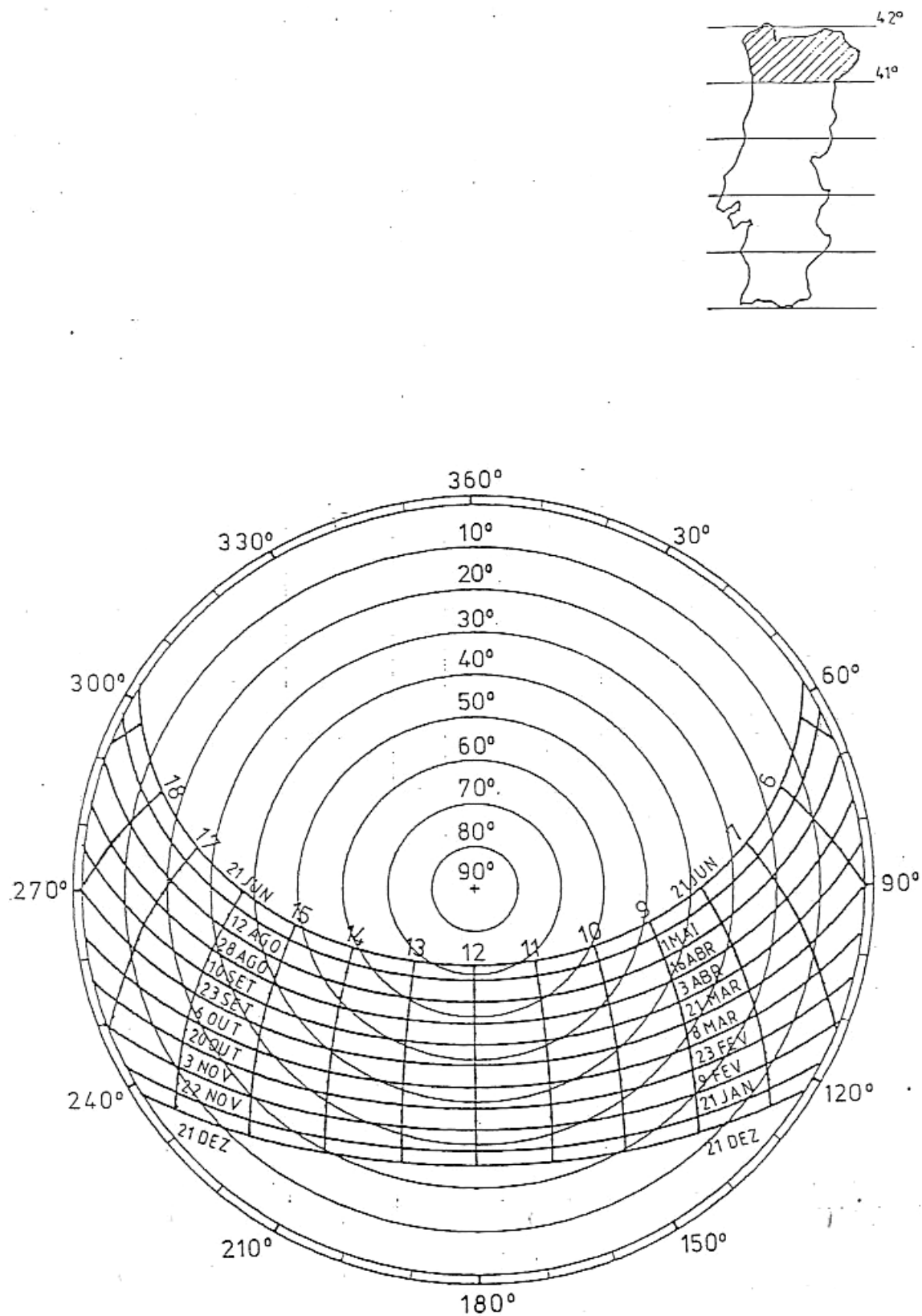


Figura II.1 - Carta Solar para Portugal Continental, Latitude entre 38° e 39° (Cunha, 2005)

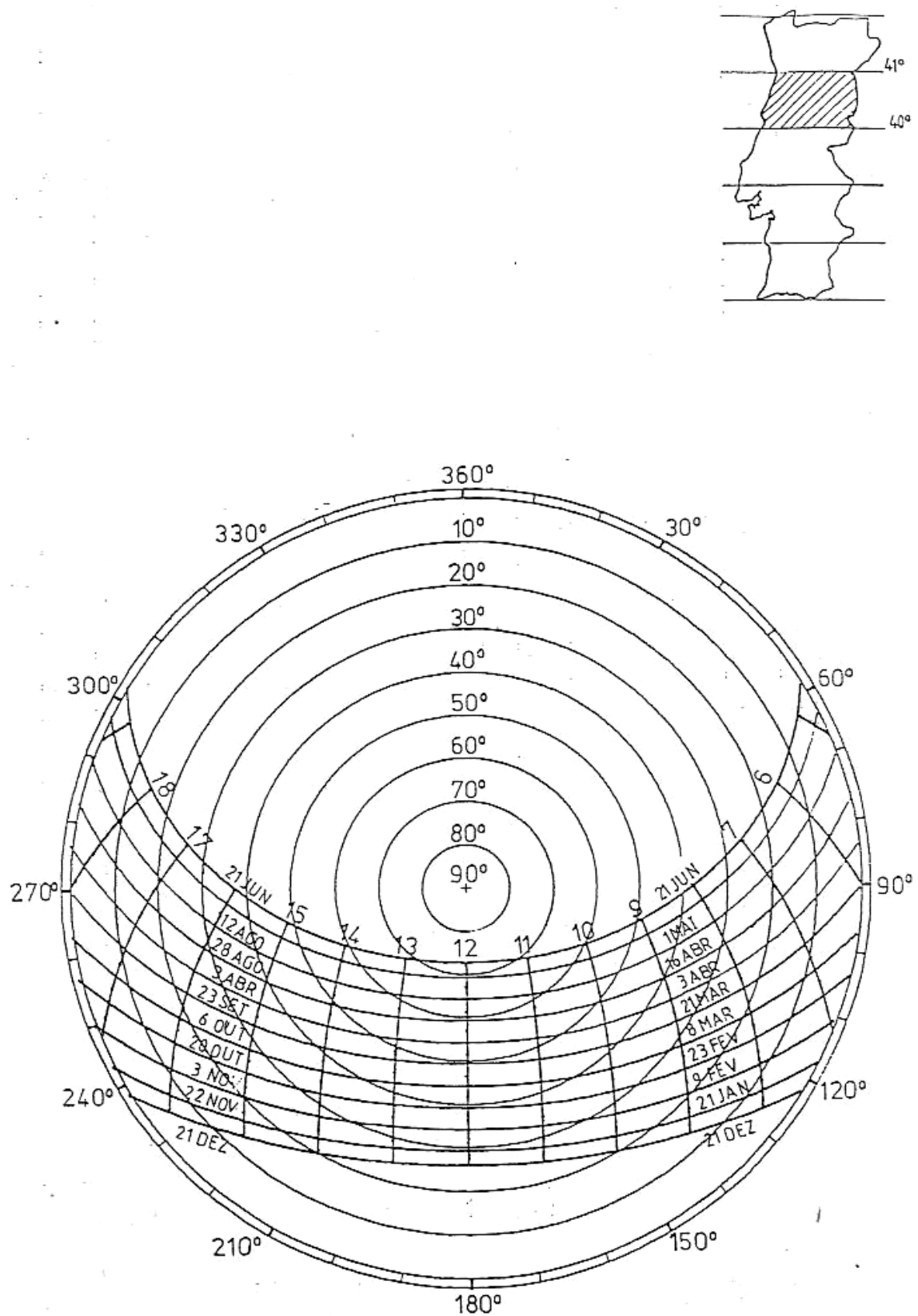


Figura II.2 - Carta Solar para Portugal Continental, Latitude entre 38° e 39° (Cunha, 2005)

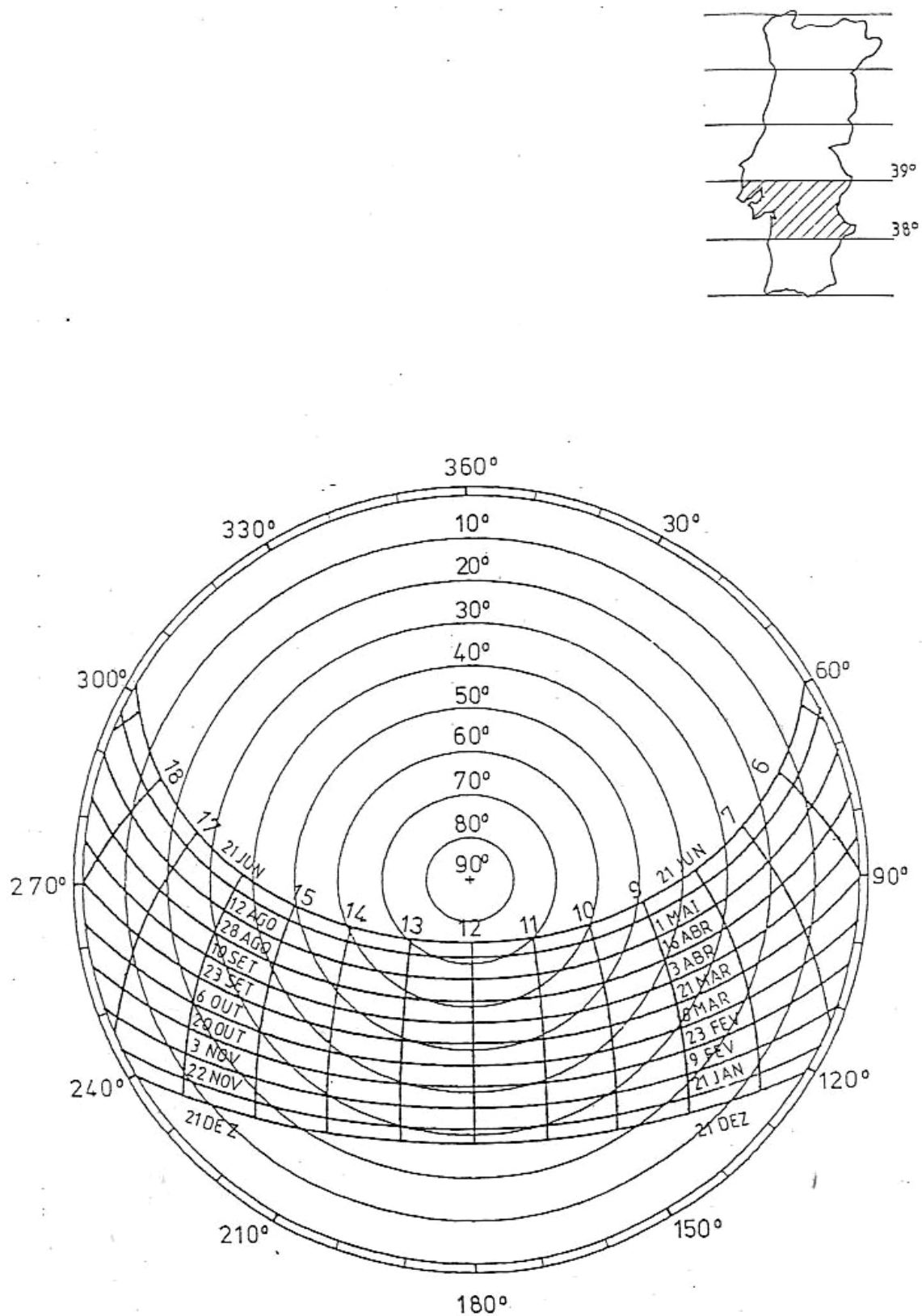


Figura II.3 - Carta Solar para Portugal Continental, Latitude entre 38° e 39° (Cunha, 2005)

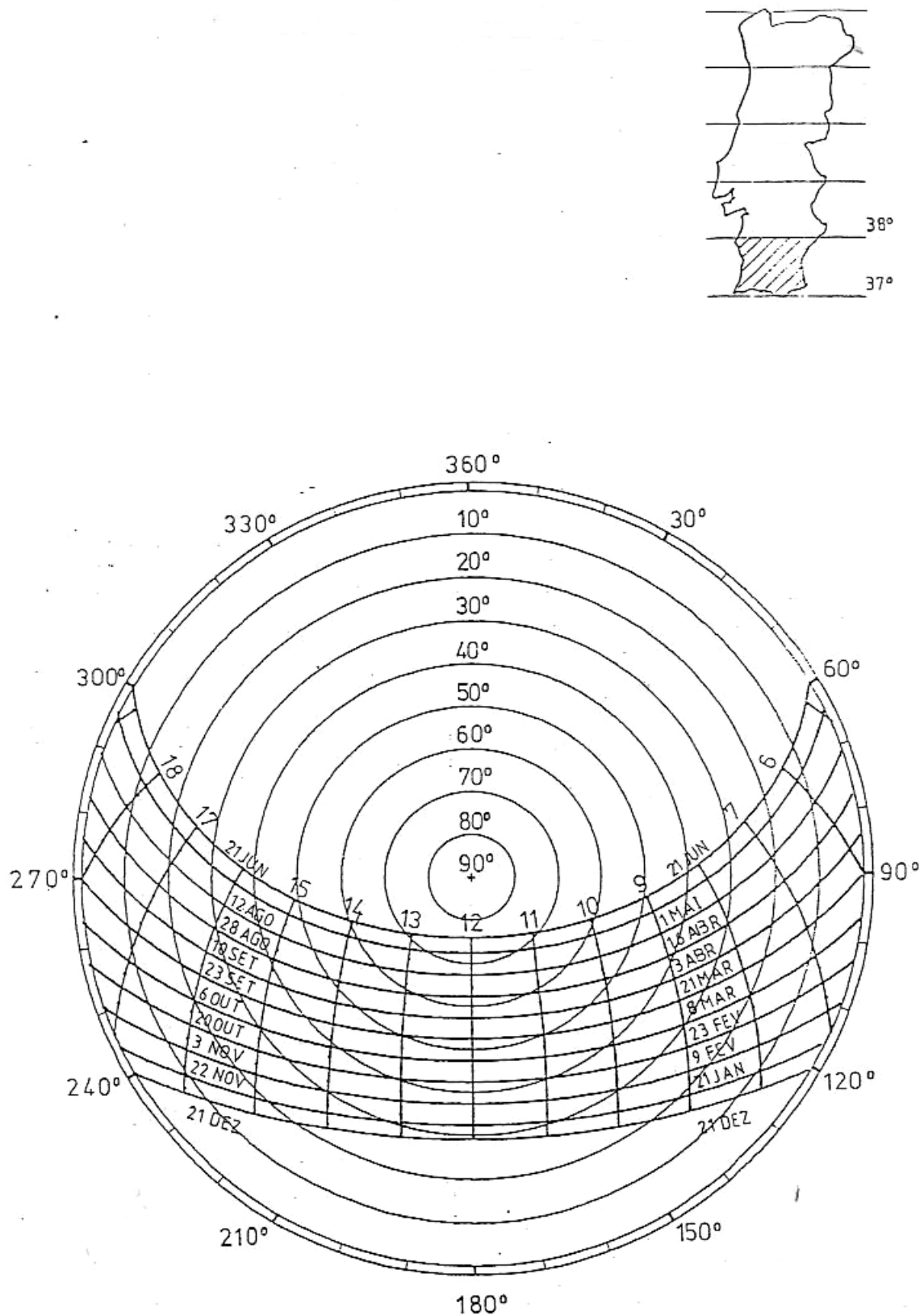
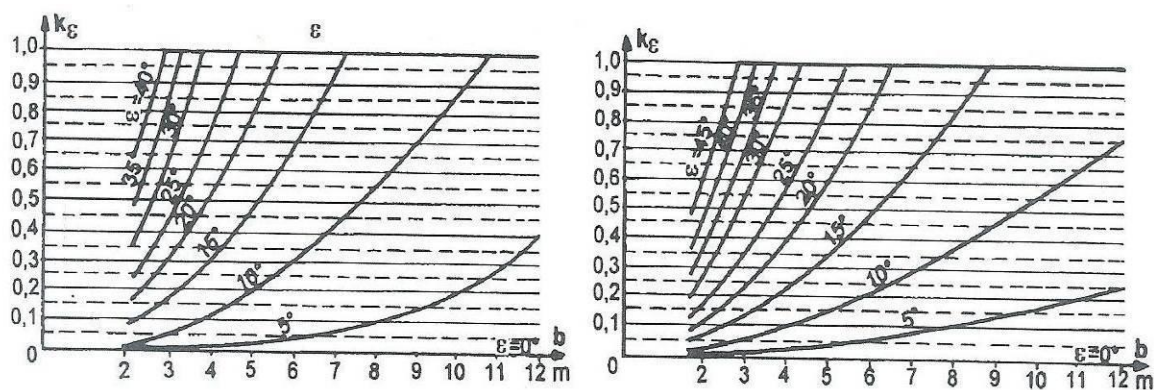


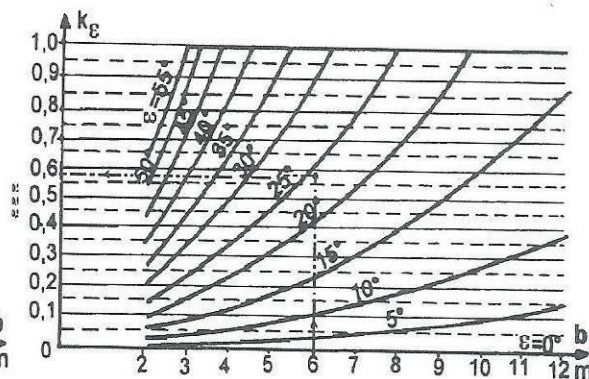
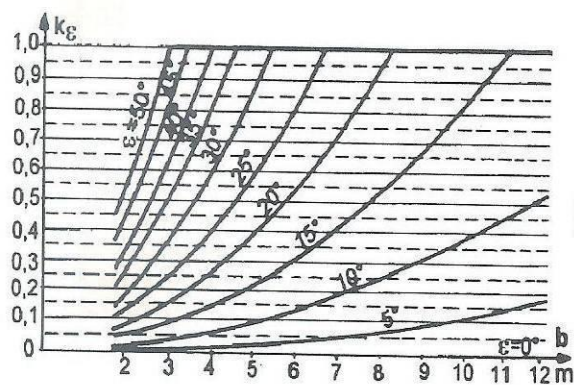
Figura II.4 - Carta Solar para Portugal Continental, Latitude entre 38° e 39° (Cunha, 2005)

Anexo III – Método Generativo



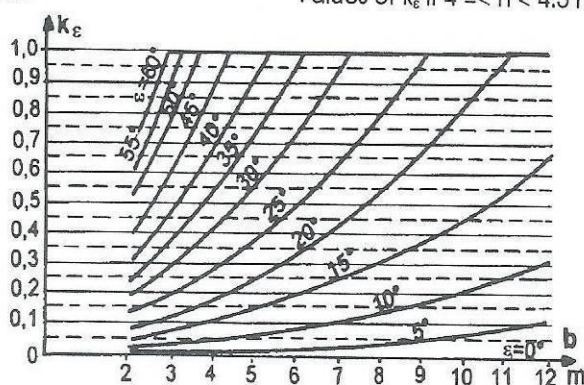
Values of k_ϵ if $2.5 \leq h < 3$ m

Values of k_ϵ if $3 \leq h < 3.5$ m



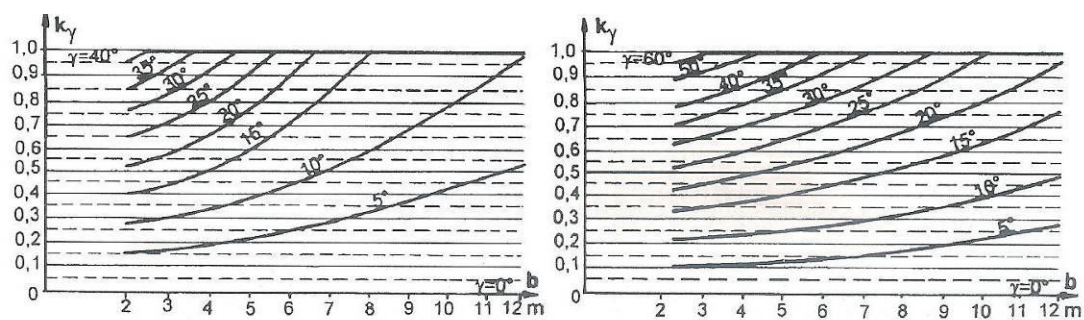
Values of k_ϵ if $3.5 \leq h < 4$ m

Values of k_ϵ if $4 \leq h < 4.5$ m



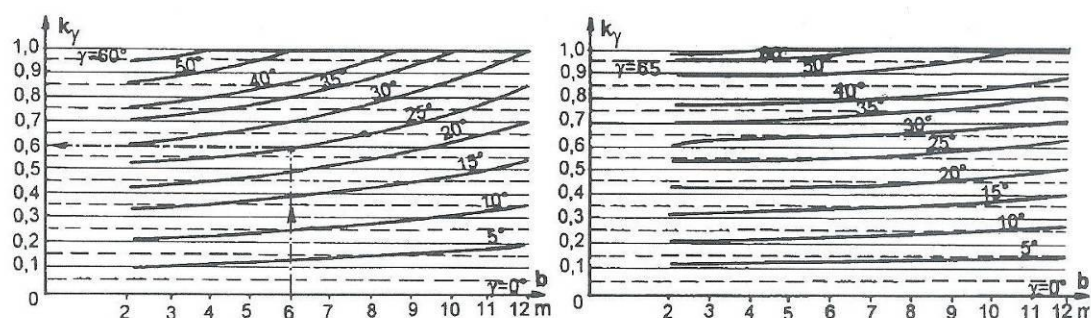
Values of k_ϵ if $4.5 \leq h < 5$ m

Gráfico III.1 – Valores de k_ϵ para divisões com diferentes alturas (Majoros, 1998)



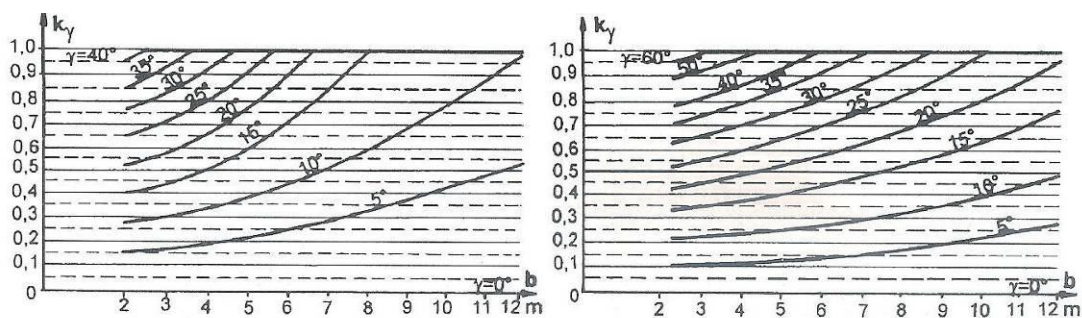
Values of k_y if $2.5 \leq a < 5$ m

Values of k_y if $5 \leq a < 7.5$ m



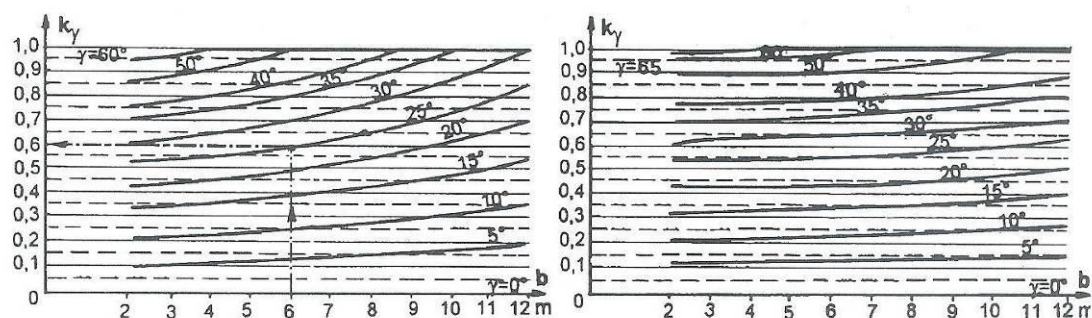
Values of k_y if $7.5 \leq a < 15$ m

Values of k_y if $a \geq 15$



Values of k_y if $2.5 \leq a < 5$ m

Values of k_y if $5 \leq a < 7.5$ m



Values of k_y if $7.5 \leq a < 15$ m

Values of k_y if $a \geq 15$

Gráfico III.2 – Valores de $K_{\gamma 1}$ e $K_{\gamma 0}$ para divisões com diferentes larguras (a) (Majoros, 1998)

Nas próximas três páginas:

Para a parte de cima de cada gráfico os eixos são

Vertical – Factor de Luz Natural (FLD)

Horizontal – profundidade da divisão (b)

E as curvas representam as diferentes larguras da divisão (a)

A parte de baixo de cada gráfico dá o coeficiente K_a para o lado direito da equação fundamental. As três curvas deste gráfico de baixo são para três posições da janela: “superior” se o topo da janela está perto do nível do tecto; “inferior” se o patamar da janela está ao nível do plano de trabalho; e “médio” numa posição intermédia. Note-se que para o maior tamanho da janela só há uma curva que é ambas “superior” e “inferior”.

Existem quatro gráficos de cada figura pois são para diferentes áreas relativas (%) de janelas.

A área máxima da janela é $(h-0,85) \times a$ – visto que a altura do plano de trabalho é geralmente 0,85m -, a área relativa máxima é A_1 .

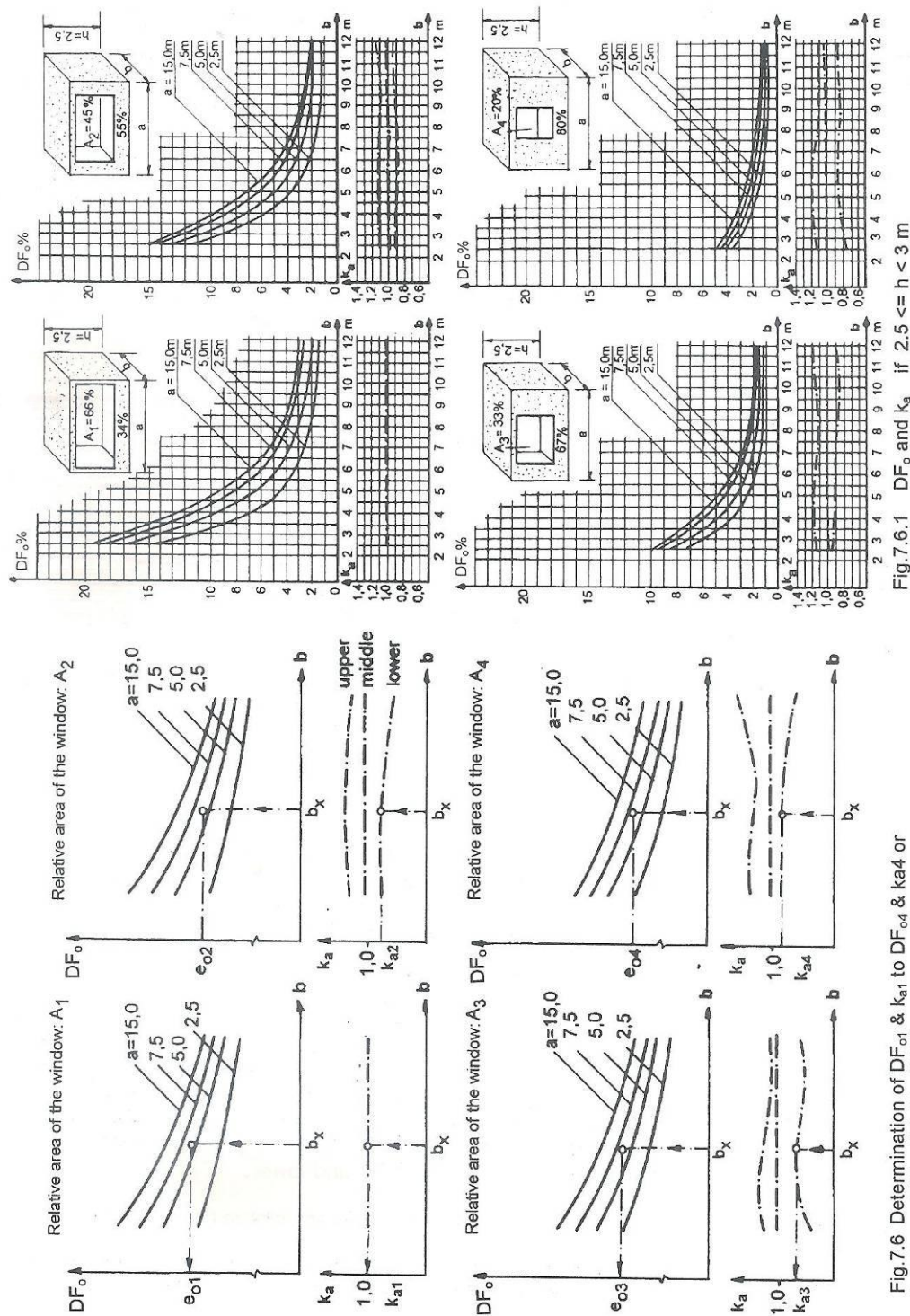


Fig.7.6.1 DF_o and k_a if $2.5 \leq h < 3$ m

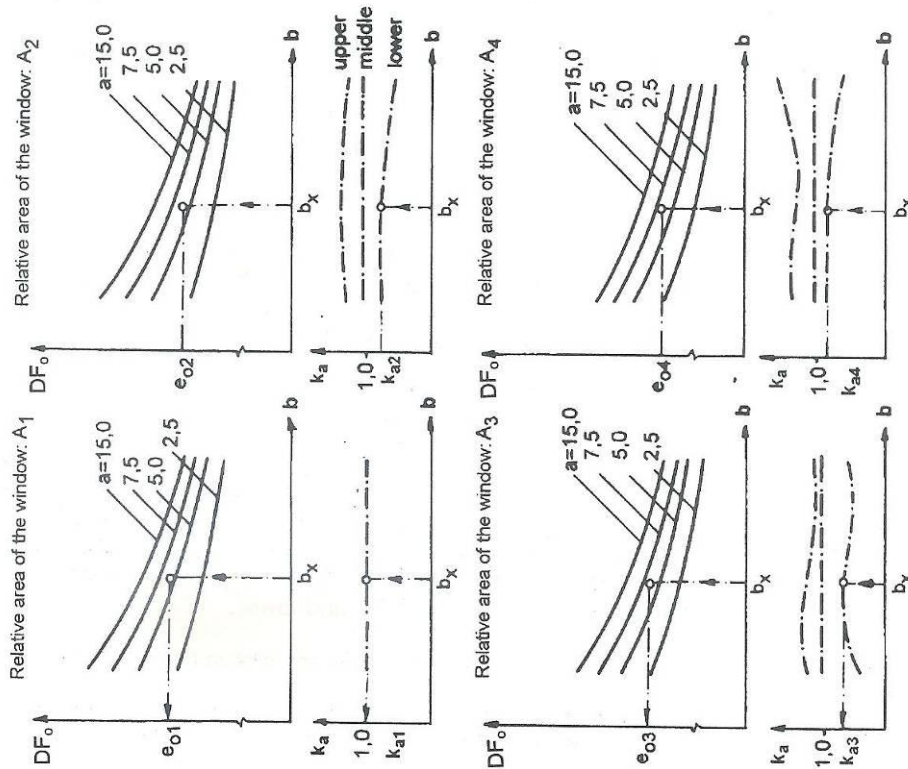


Fig.7.6 Determination of DF_{o1} & k_{a1} to DF_{o4} & k_{a4} or how to read Figs.7.6.1 to 7.6.5

Gráfico III.3 – Valores de FLD_o e K_a (Majoros, 1998)

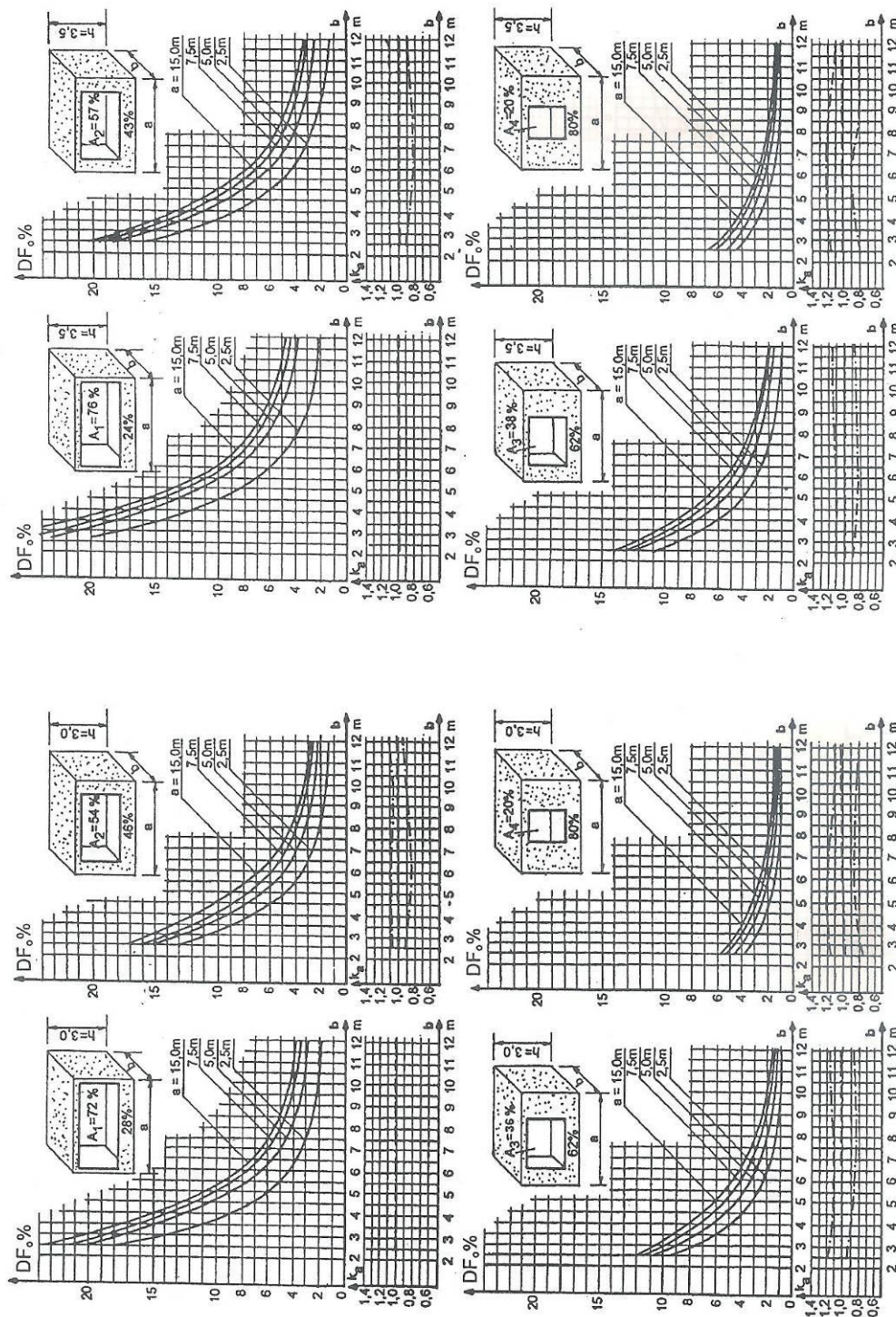


Fig.7.6.2 DF_0 and K_a if $3 \leq h < 3.5$ m

Gráfico III.4 – Valores de FLD_0 e K_a (Majoros, 1998)

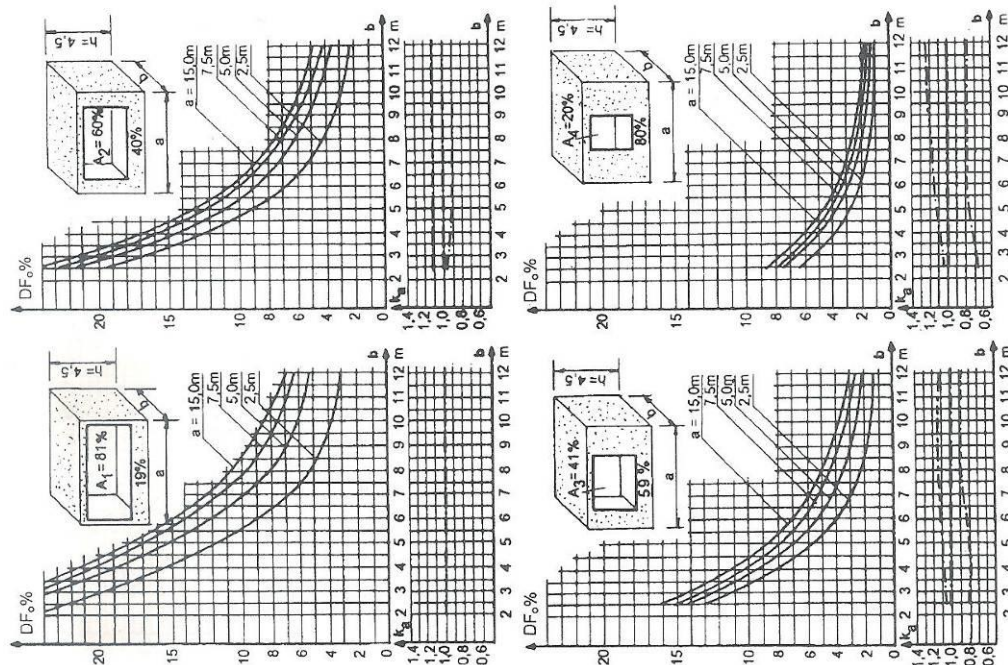


Fig. 7.6.5 DF_o and k_a if $4.5 \leq h < 5$ m

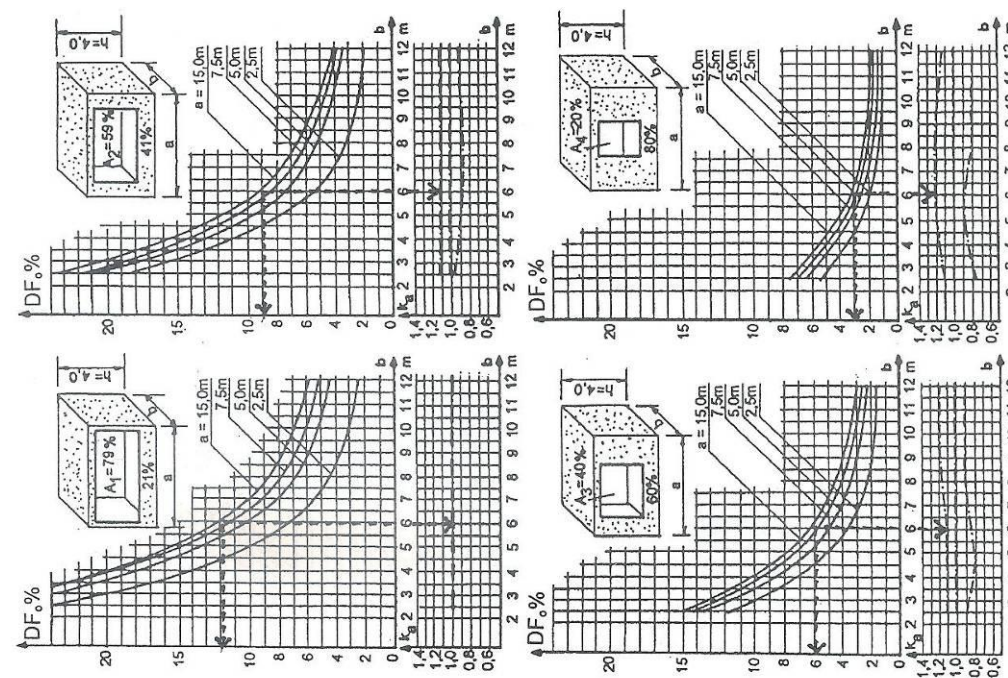


Fig. 7.6.4 DF_o and k_a if $4 \leq h < 4.5$ m

Gráfico III.5 – Valores de FLD_o e K_a (Majoros, 1998)

Anexo IV – Factor Solar de Alguns Tipos de Vidro

Tabela IV.1 - Factor Solar de Alguns Tipos de Vidro (RCCTE)

TABELA IV.4

Valores do factor solar dos envidraçados (g_L)

Tabela IV.4.1

Factor solar de alguns tipos de vidro (g_{Lv})

Tipo	Factor solar
Vidro simples:.....	
Incolor:	
4 mm	0,88
5 mm	0,87
6 mm	0,85
8 mm	0,82
Colorido na massa (bronze, cinza, verde):	
4 mm	0,70
5 mm	0,65
6 mm	0,60
8 mm	0,55
Reflectante incolor:	
De 4 mm a 8 mm	0,60
Reflectante colorido na massa (bronze, cinza, verde):	
De 4 mm e 5 mm	0,50
De 6 mm e 8 mm	0,45
Vidro duplo:	
Incolor + incolor:	
(4 a 8) mm + 4 mm	0,78
(4 a 8) mm + 5 mm	0,75
Colorido na massa + incolor:	
4 mm + (4 a 8) mm	0,60
5 mm + (4 a 8) mm	0,55
6 mm + (4 a 8) mm	0,50
8 mm + (4 a 8) mm	0,45
Reflectante incolor + incolor:	
(4 a 8) mm + (4 a 8) mm	0,52
Reflectante colorido na massa + incolor:	
(4 e 5) mm + (4 a 8) mm	0,40
(6 e 8) mm + (4 a 8) mm	0,35

Anexo V – Mapa de Radiação Solar na Europa e em Portugal

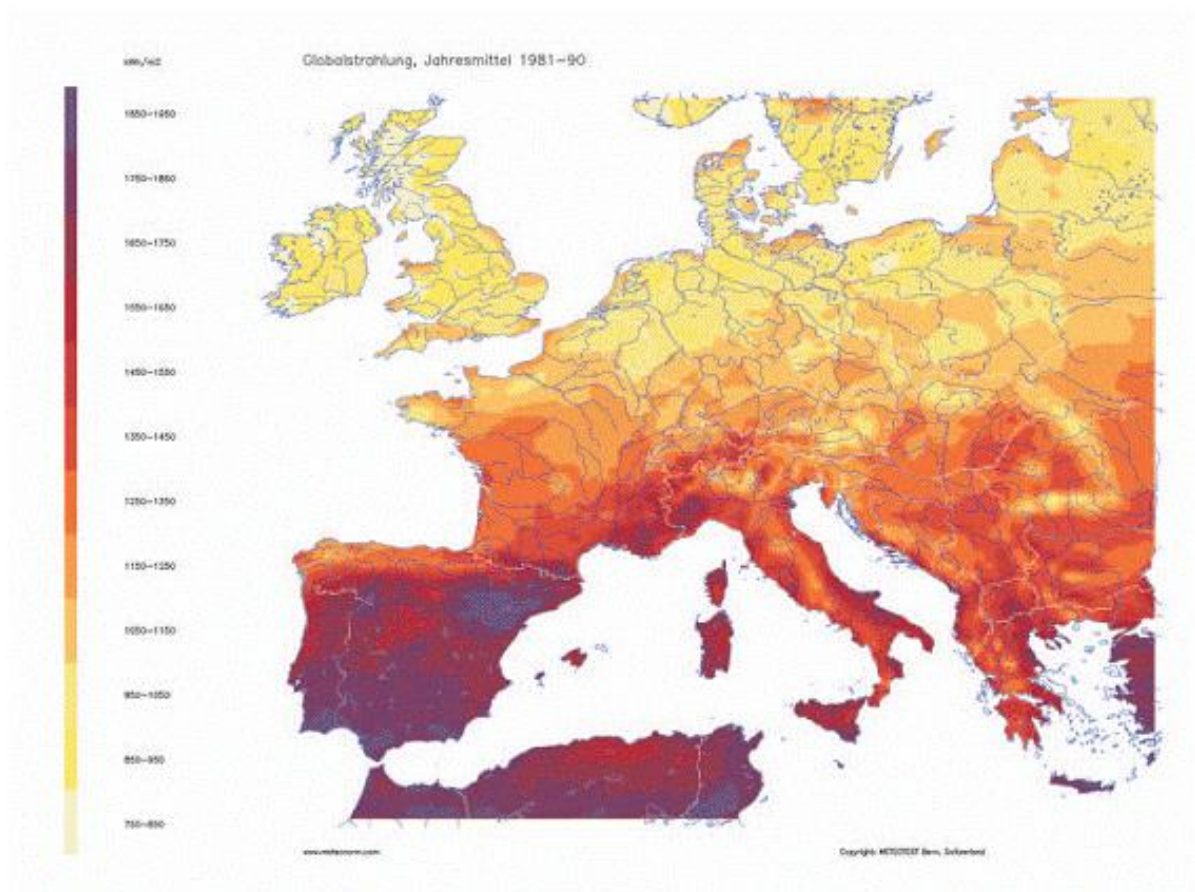


Figura V.1 – Mapa de Radiação Solar na Europa (<http://www.energiasrenovaveis.com>)

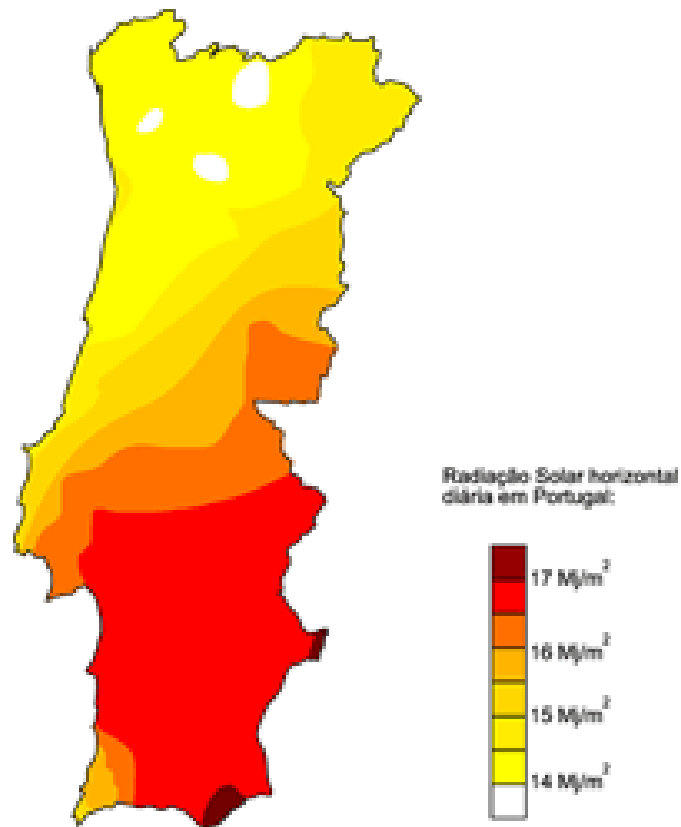


Figura V.2 – Mapa de Radiação Solar em Portugal
(<http://www.energiasrenovaveis.com>)

Anexo VI – Fotografias



Figura VI.1 – Fotografias da cozinha



Figura VI.2 – Fotografias da sala



Figura VI.3 – Fotografias do quarto 1

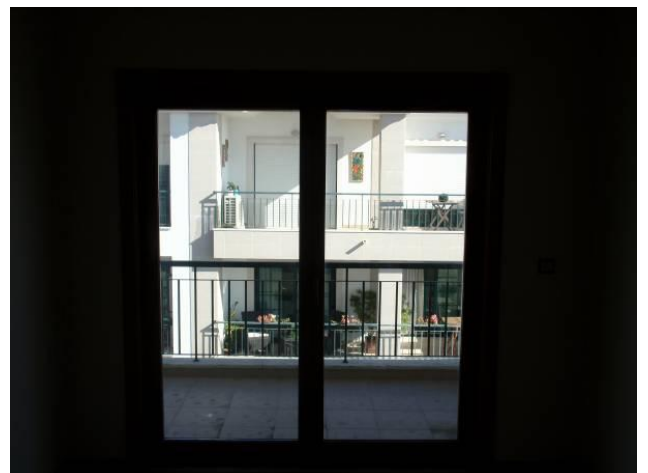


Figura VI.4 – Fotografias do quarto 2



Figura VI.5 – Fotografias da suite



Figura VI.6 – Fotografias do edifício

Anexo VII – Alçados, cortes e plantas do edifício em estudo

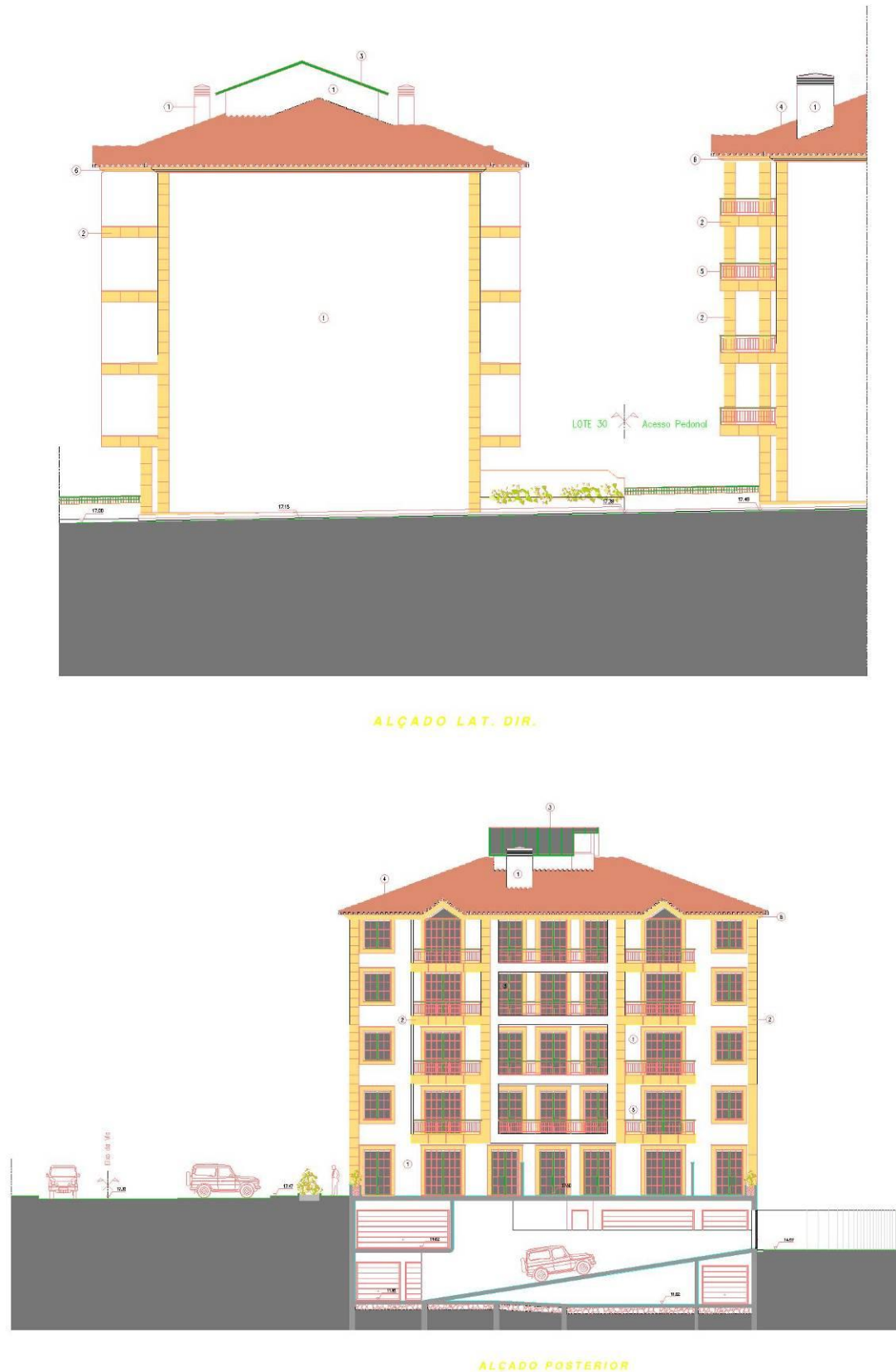


Figura VII.1 – Alçado Sul e Alçado Posterior



ALÇADO PRINCIPAL



ALÇADO LAT. ESQ.

Figura VII.2 – Alçado Principal e Alçado Lateral Esquerdo

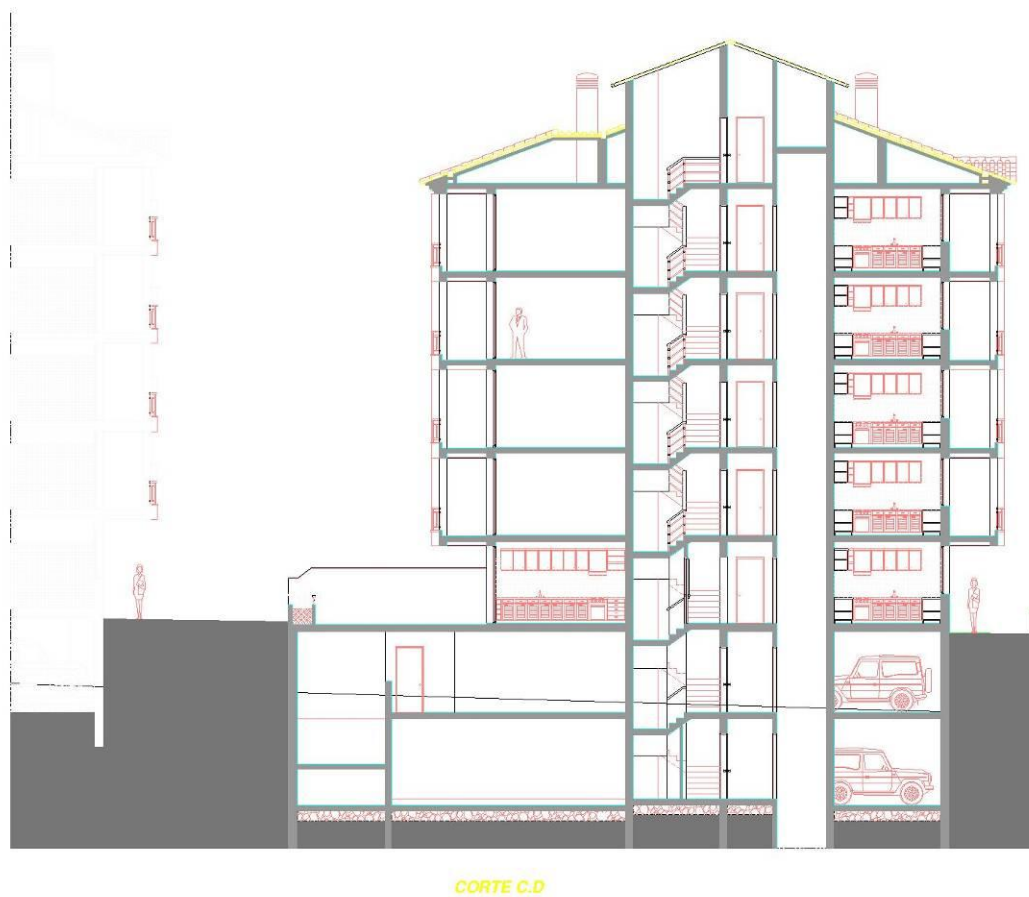
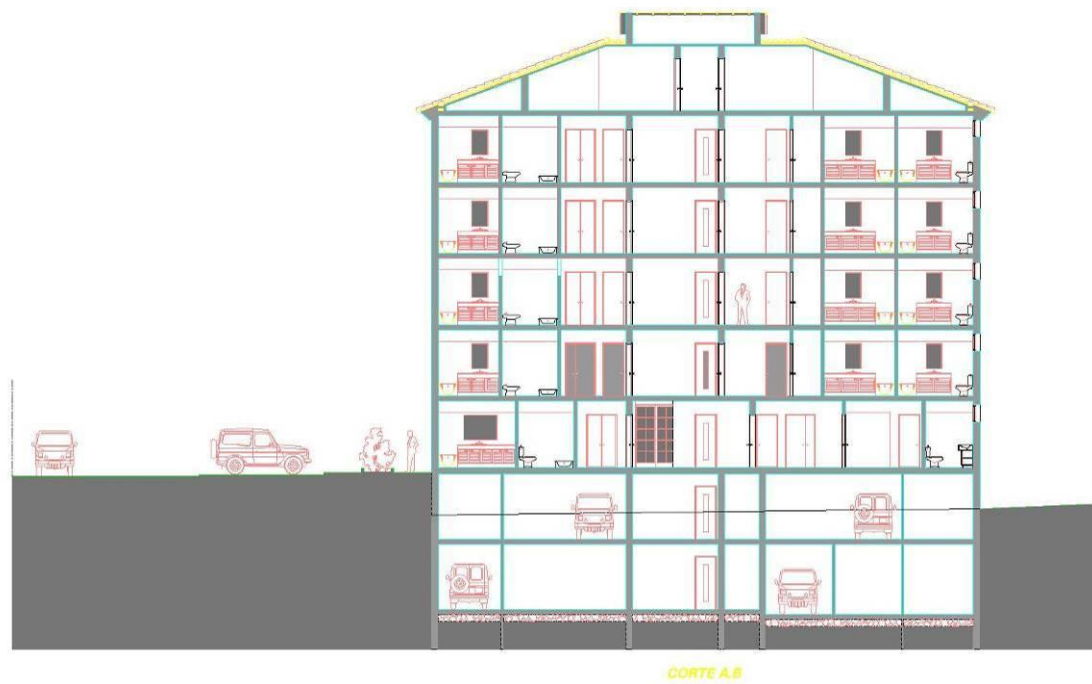


Figura VII.3 – Corte A-B e Corte C-D

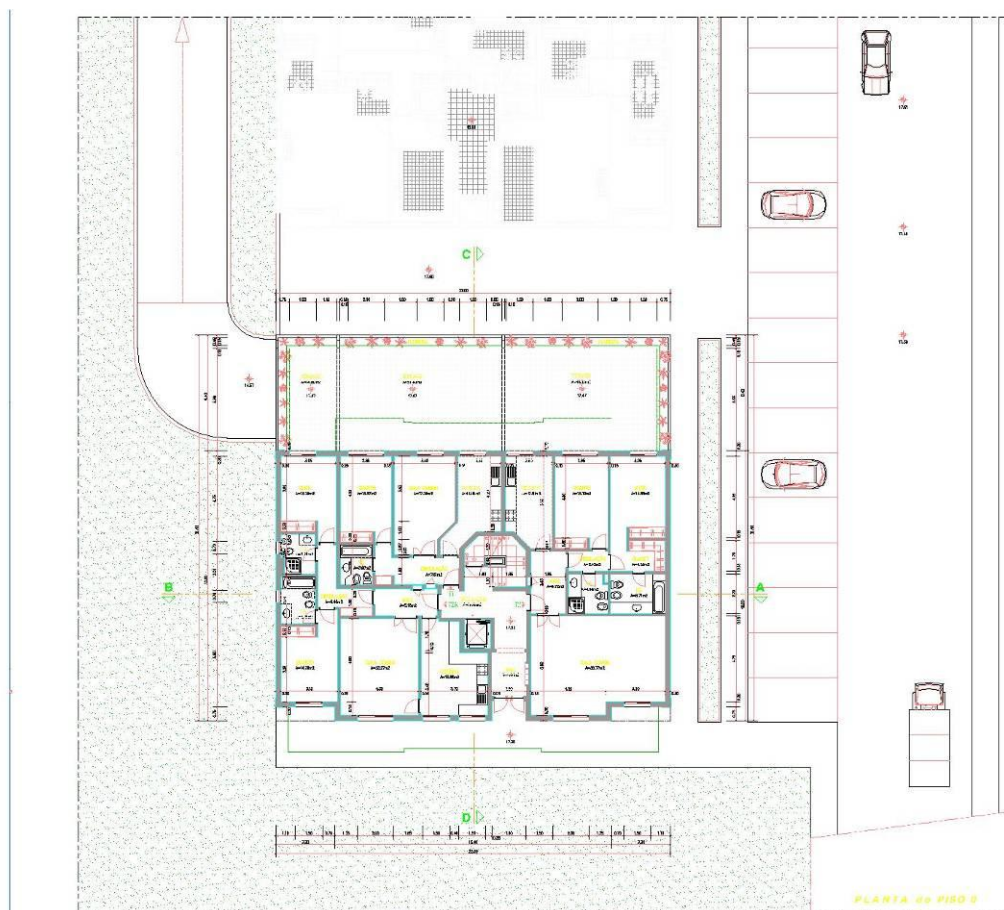
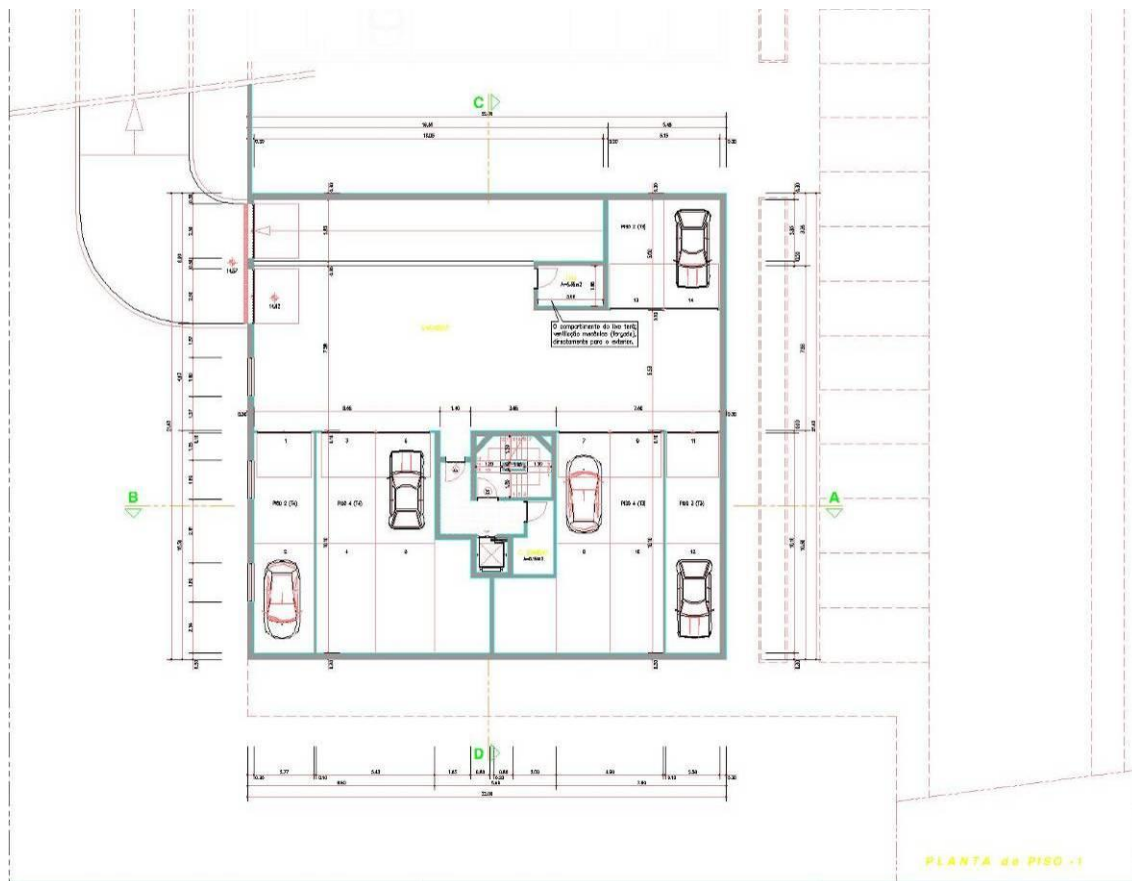
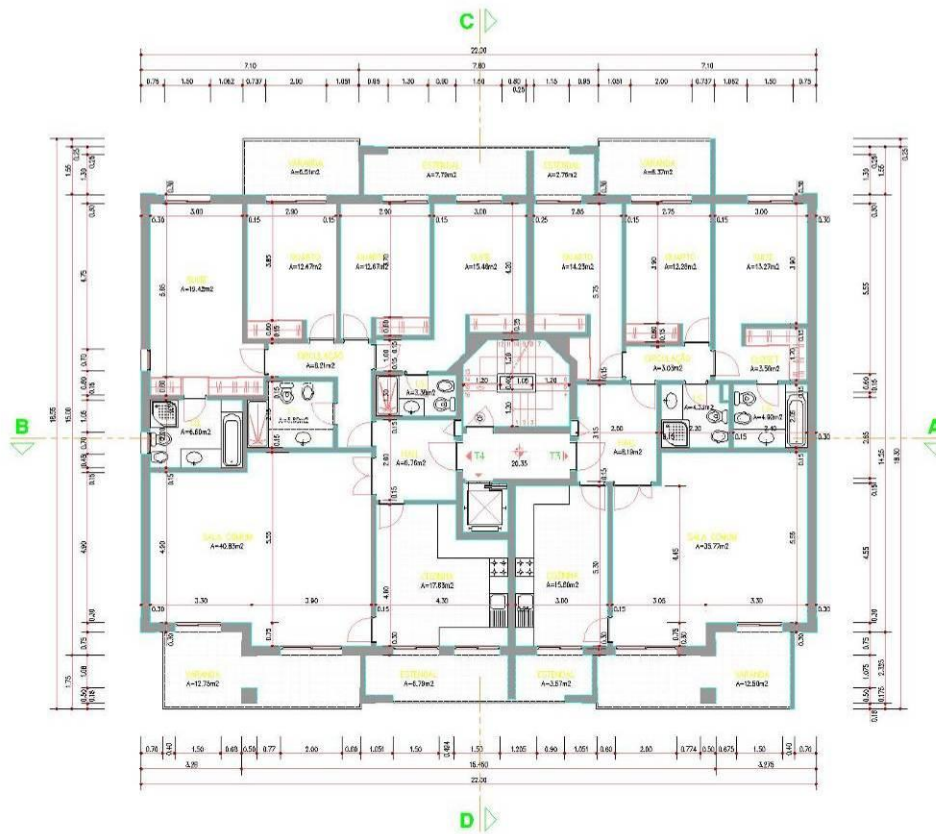
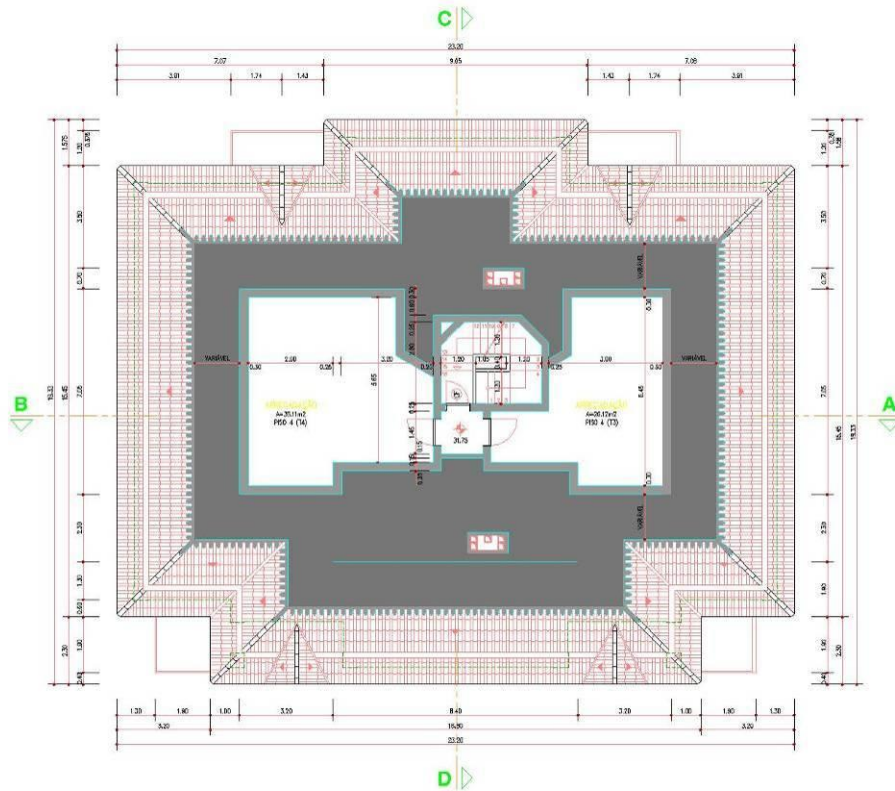


Figura VII.5 – Planta do piso -1 e Planta do piso 0



PLANTA dos PISOS: 1, (2, 3 e 4)



PLANTA do SÓTÃO

Figura VII.6 – Planta do piso 1,2,3,4 e Planta do sótão

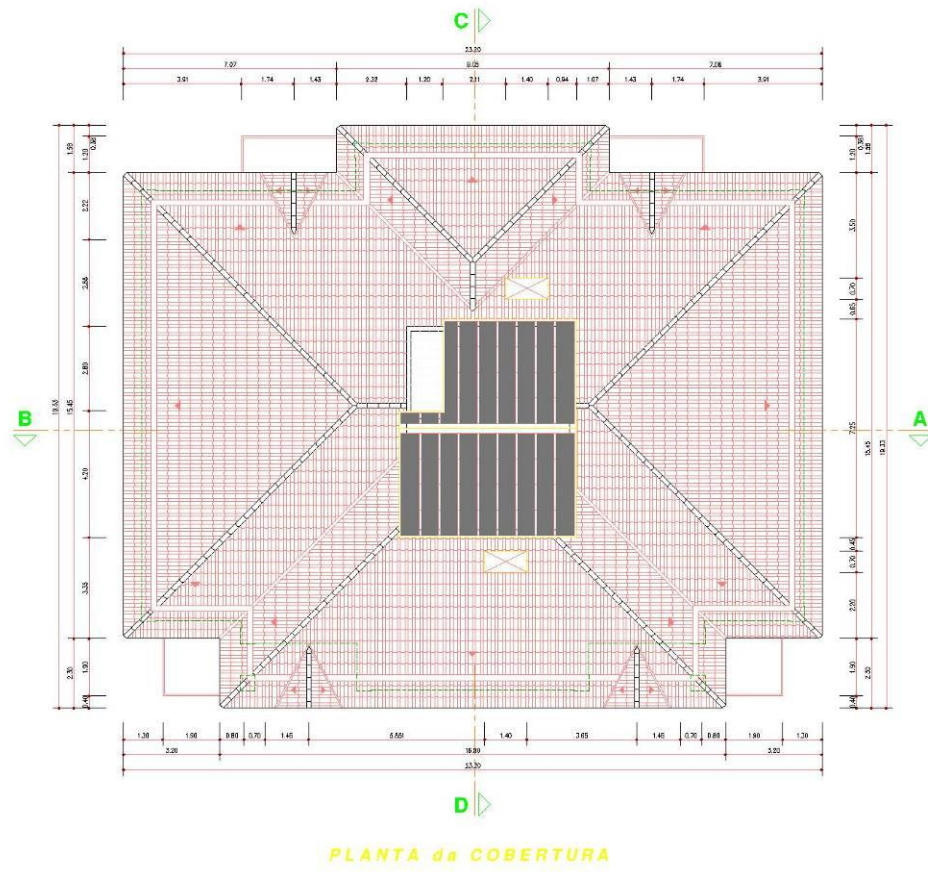


Figura VII.7 – Planta da cobertura

Anexo VIII – Reflectância de alguns materiais

Surface type	Description	Reflectance
Ceilings	White emulsion paint on plain plaster surface	0.8
	White emulsion paint on acoustic tile	0.7
	White emulsion paint on no-fines concrete	0.6
	White emulsion paint on wood-wool slab	0.5
Walls	White emulsion paint on plain plaster surface	0.8
	Tiles: white glazed	0.8
	Brick: white gault	0.7
	Plaster, pink	0.65
	White asbestos cement	0.4
	Brick: concrete, light grey	0.4
	Portland cement, smooth	0.4
	Stainless steel	0.35
	Brick, fletton	0.3
	Concrete: light grey	0.25
	Portland cement, rough (as board marked)	0.25
	Brick, London stock	0.25
	Timber panelling: light oak, mahogany, gaboona	0.25
	Timber panelling: teak, afrosia, medium oak	0.2
	Brick: concrete, dark grey	0.2
	Brick: blue engineering	0.15
	Chalkboard, painted black	0.05
Floors and furniture	Paper, white	0.8
	Cement: screed	0.45
	PVC tiles: cream	0.45
	Carpet: light grey, middle buff	0.45
	Timber: birch, beech, maple	0.35
	Timber: oak	0.25
	PVC tiles: brown and cream marbled	0.25
	Carpet: turquoise, sage green	0.25
	Timber: iroko, keruing, medium oak	0.2
	Tiles: cork, polished	0.2
	Quarry tiles: red, heather, brown	0.1
	Carpet: dark, 'low maintenance'	0.1
	PVC tiles: dark brown	0.1
	Timber: dark oak	0.1

Figura VIII.1 a) – Reflectância de alguns materiais (Coutinho, 2009)

Other	Asphalt	0.07
	Moist earth	0.07
	Salte (dark grey)	0.08
	Gravel	0.13
	Water	0.15
	Grandolite	0.17
	Bluestone, sandstone	0.18
	Macadam	0.18
	Vegetation (average)	0.25
	Cement	0.27
	Dark red glazed brick	0.3
	Green grass	0.33
	Dark buff brick	0.4
	Light buff brick	0.48
	Concrete	0.05–0.5
	Marble (white)	0.45
	Oak	0.15–0.05
	Old white paint	0.55
	New white paint	0.75
	Old snow	0.64
	New snow	0.74
Specular reflectance	Aluminium commercial grade (anodised and polished)	0.7
	Aluminium super-purity (anodised and polished)	0.8
	Surface aluminised glass or plastic	0.94
	Chromium (plate quality)	0.65
	Stainless steel (polished)	0.6
	Steel: white paint glossy (specular only)	0.05

Sources: CIBSE, 1994 *Code for Interior Lighting*, CIBSE, London.; Baker, N, Fanchiotti A and Steemers K; (eds), 1993 *Daylighting in Architecture*, James & James, London.
 Cayless M.A and Marsden AM (eds); 1983 *Lamps and Lighting*, Edward Arnold, London.

Figura VIII.1 b) – Reflectância de alguns materiais (Coutinho, 2009)

Anexo IX – Valores recomendados

Quadro IX.1 – Factores de Luz-do-Dia recomendados em habitação (Mendonça, 2005)

Local	Factores de Luz do Dia
Quartos de dormir	0,5% (a $\frac{3}{4}$ da profundidade do compartimento)
Cozinhas	2% (a meio da profundidade do compartimento)
Salas de estar	1% (a meio da profundidade do compartimento)

Quadro IX.2 – Valores de iluminância recomendados em habitação (Mendonça, 2005)

Local	Iluminâncias lux)
Zonas de circulação	50-100
Salas de estar	100
Salas de jantar / cozinhas	200
Zonas de estudo	300-500

Anexo X – Distribuição de Factor de Luz do Dia

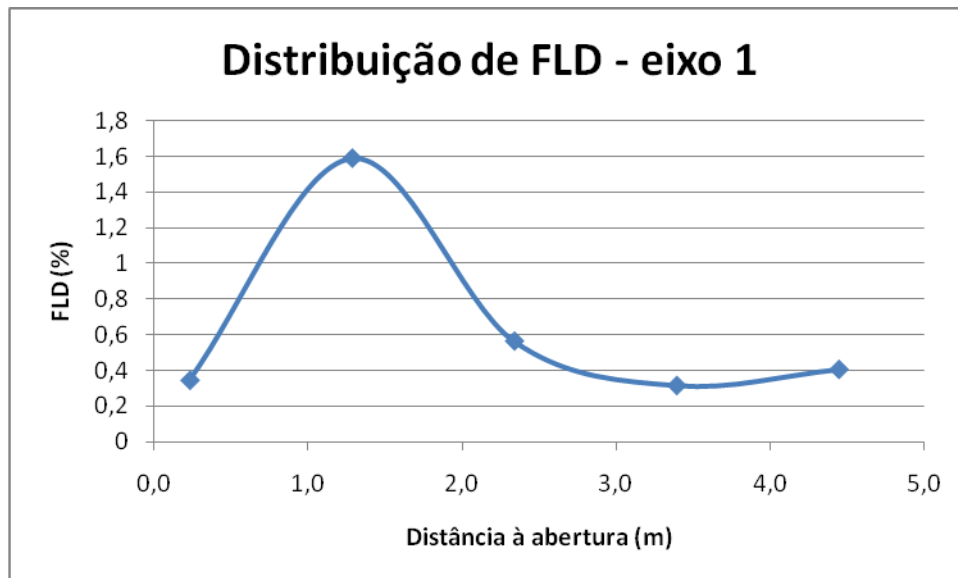


Gráfico X.1 – Distribuição de FLD – eixo 1

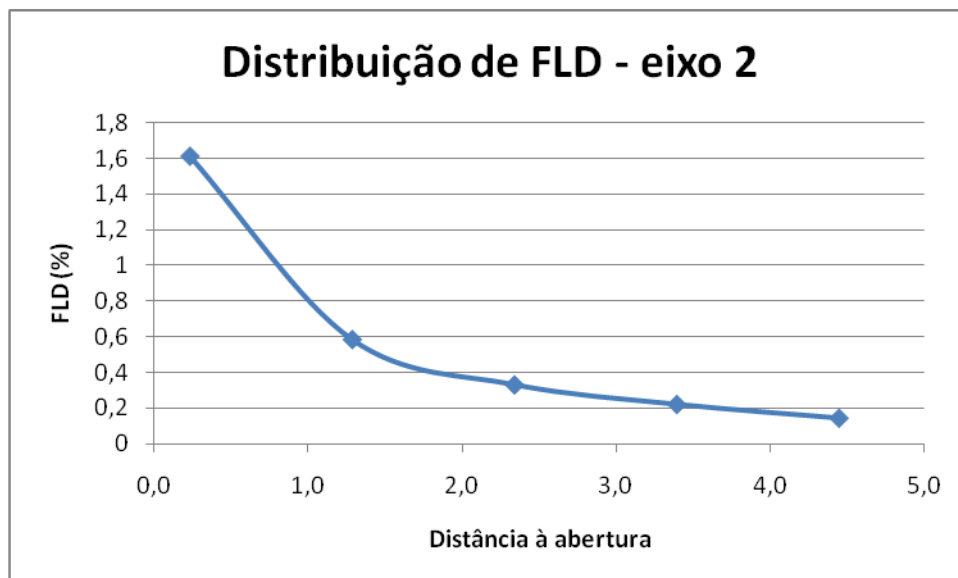


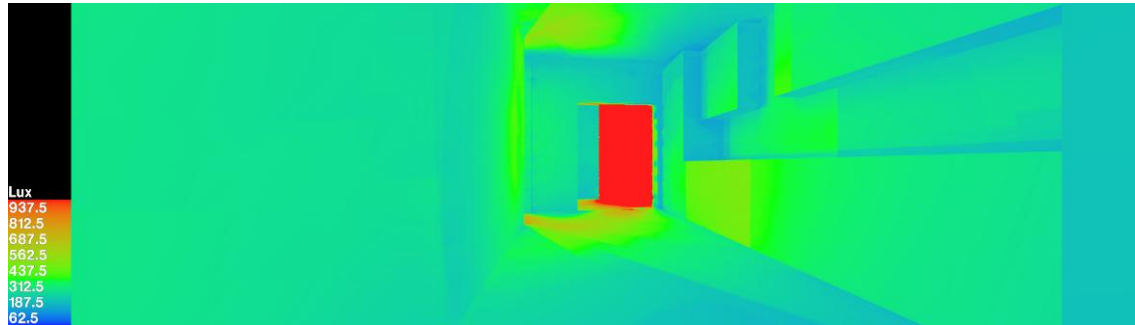
Gráfico X.2 – Distribuição de FLD – eixo 2

Anexo XI – Representação da iluminância em *false color*

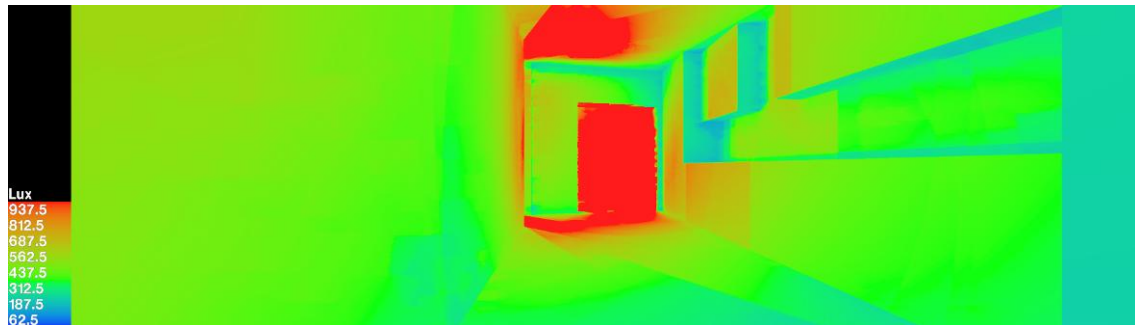
Divisão - Cozinha

Data - 21 de Março

Hora – 9h



Hora – 12h



Hora – 17h

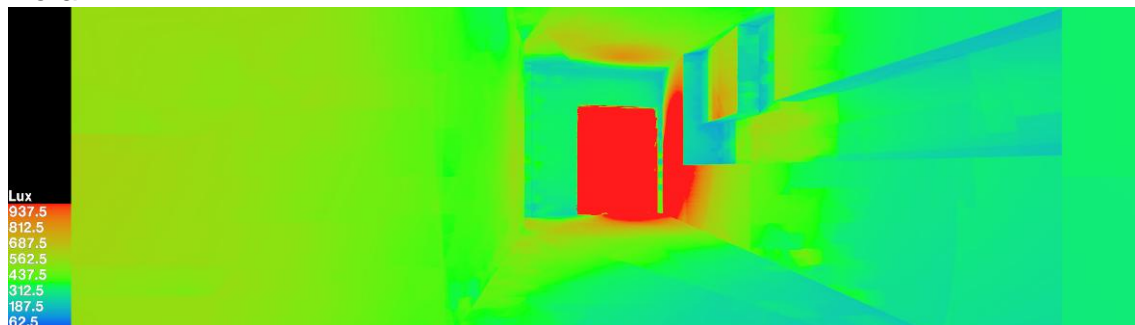
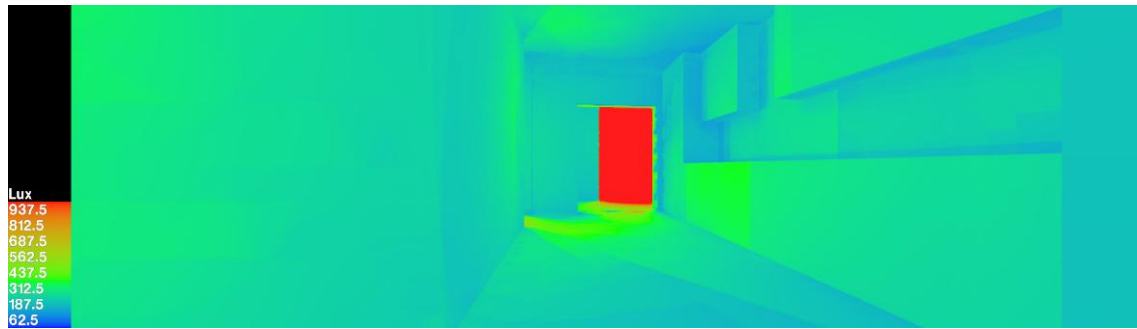


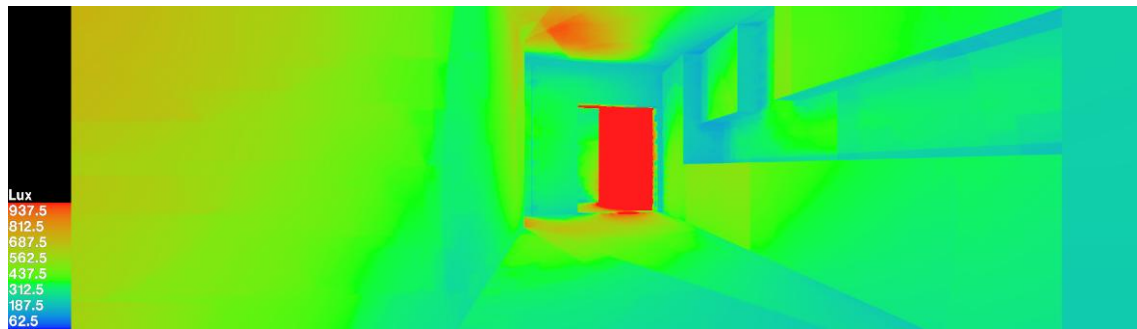
Figura XI.1 – Representação da iluminância em *false color* - Cozinha - 21 de Março

Data - 21 de Junho

Hora – 9h



Hora – 12h



Hora – 17h

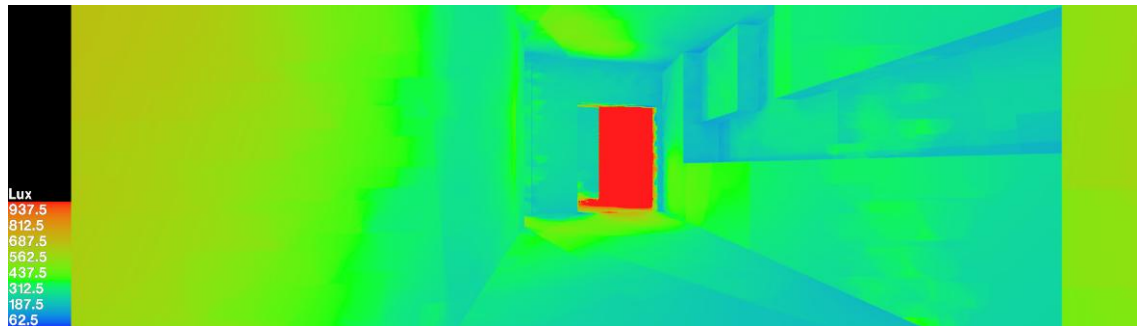
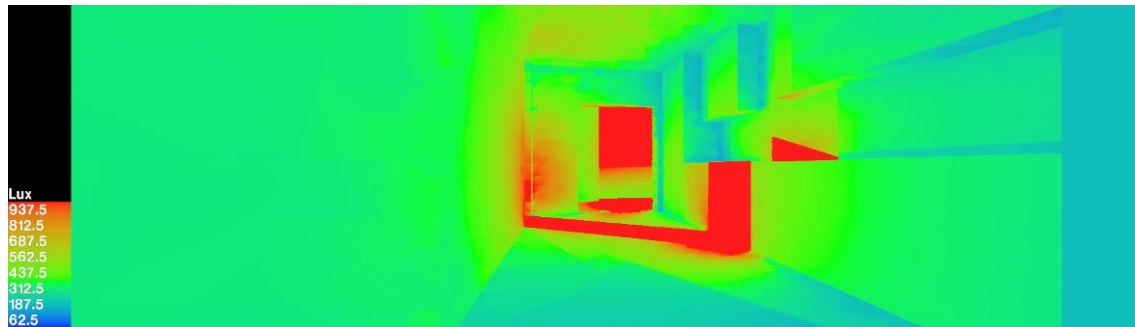


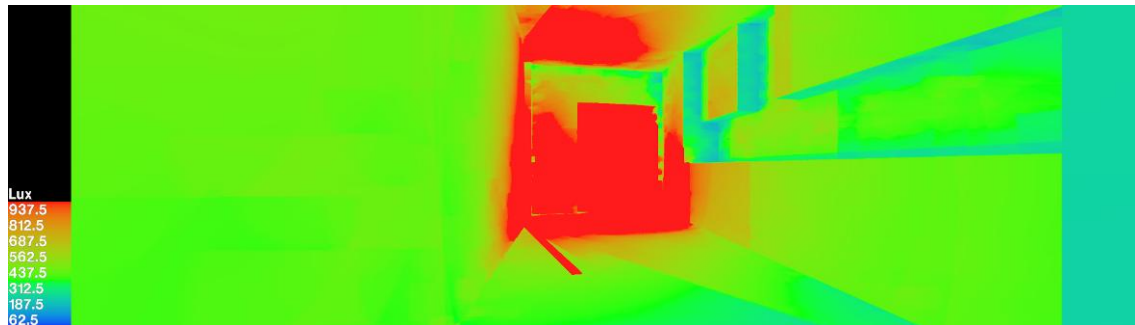
Figura XI.2 – Representação da iluminância em *false color* - Cozinha - 21 de Junho

Data - 21 de Dezembro

Hora – 9h



Hora – 12h



Hora – 15h

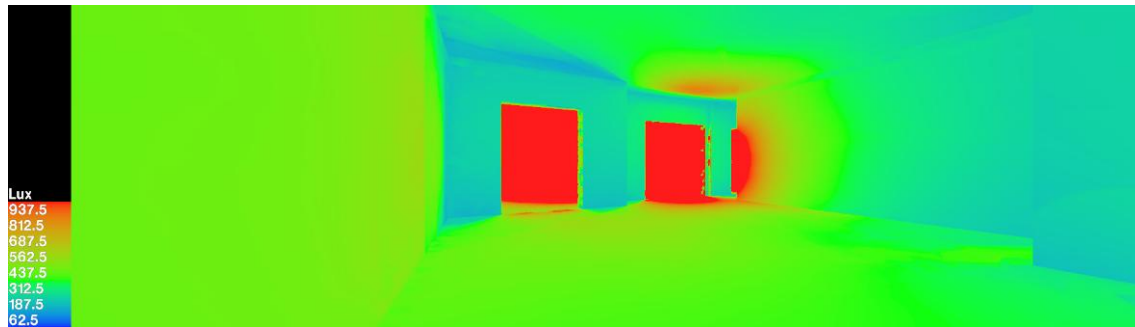


Figura XI.3 – Representação da iluminância em *false color* - Cozinha - 21 de Dezembro

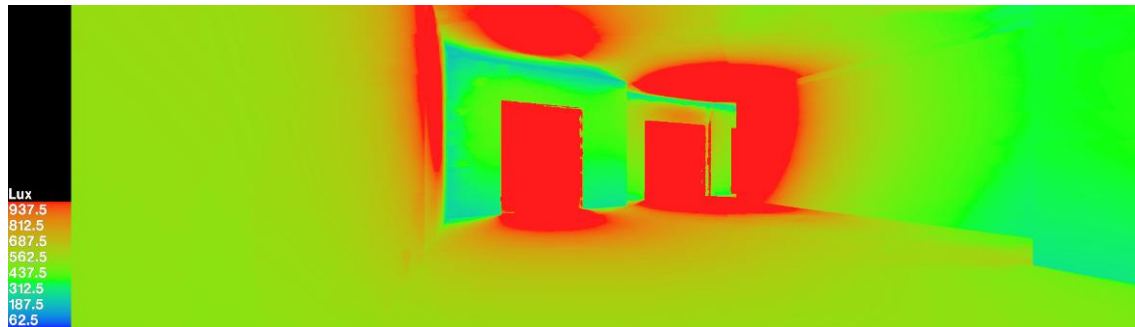
Divisão - Sala

Data - 21 de Março

Hora – 9h



Hora – 12h



Hora – 17h

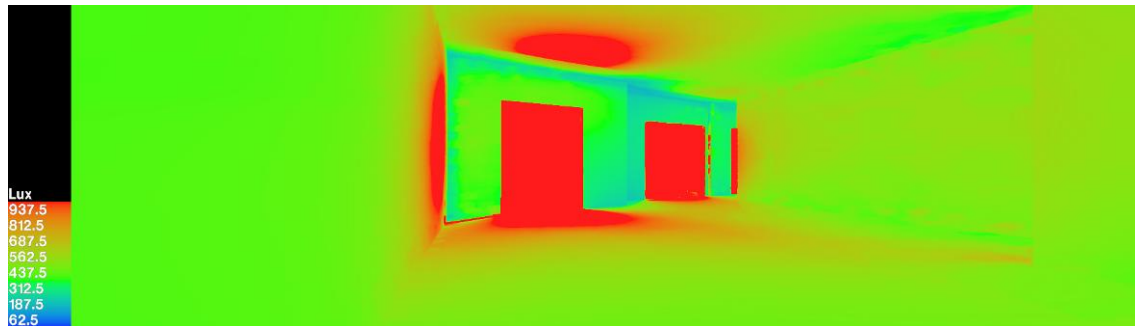
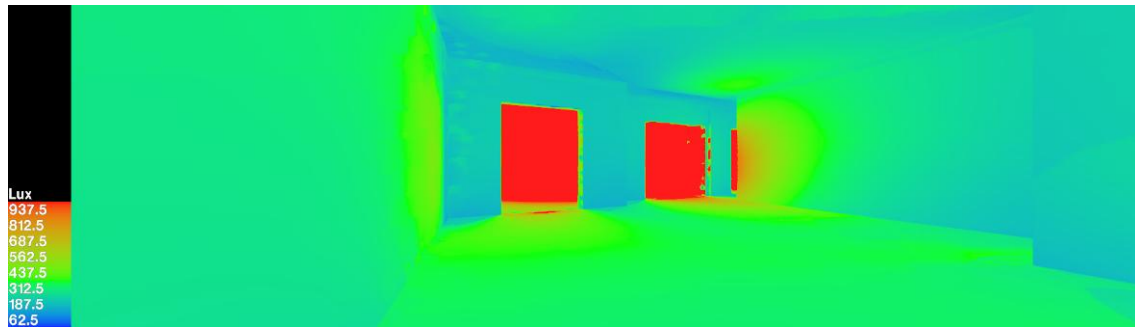


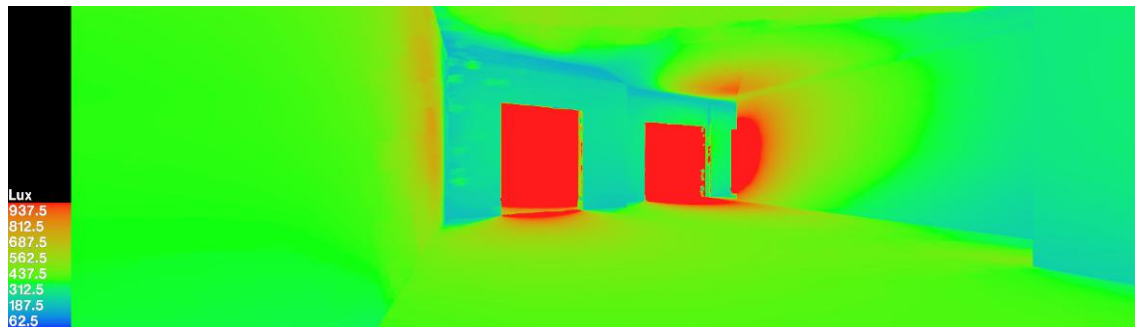
Figura XI.4 – Representação da iluminância em *false color* - Sala - 21 de Março

Data - 21 de Junho

Hora – 9h



Hora – 12h



Hora – 17h

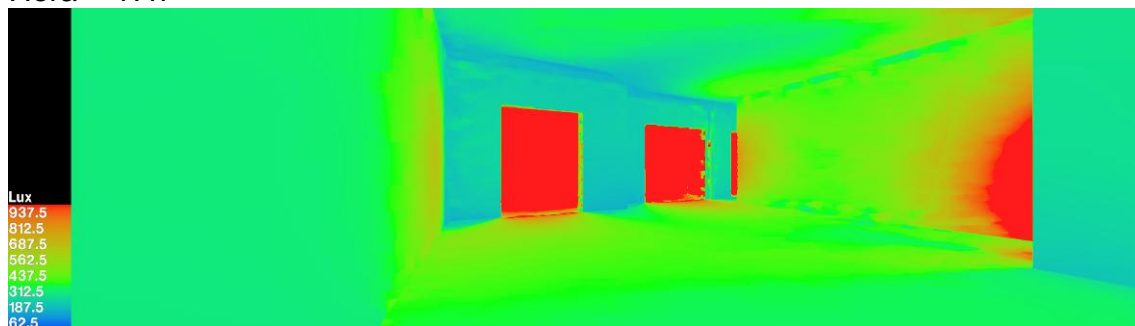
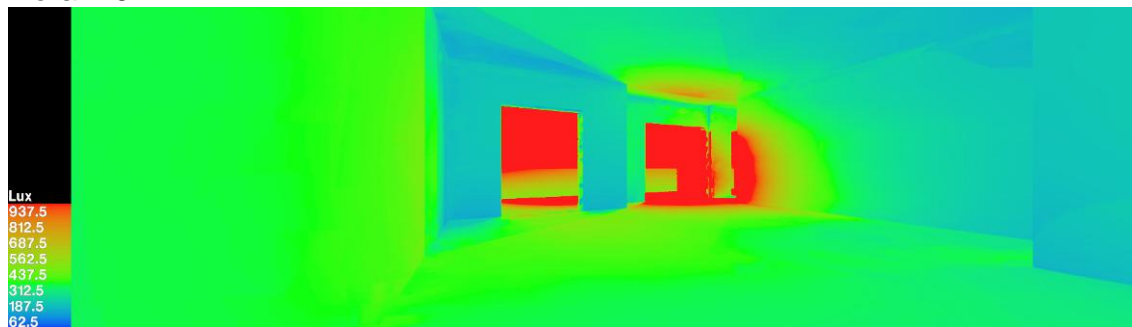


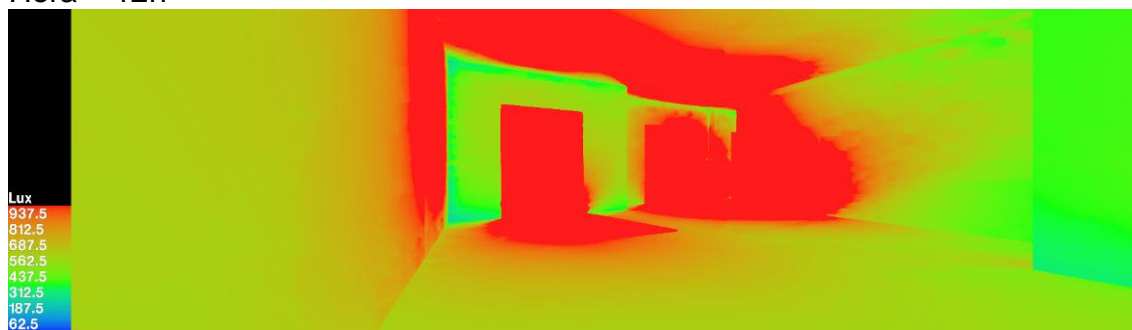
Figura XI.5 – Representação da iluminância em *false color* - Sala - 21 de Junho

Data - 21 de Dezembro

Hora – 9h



Hora – 12h



Hora – 15h

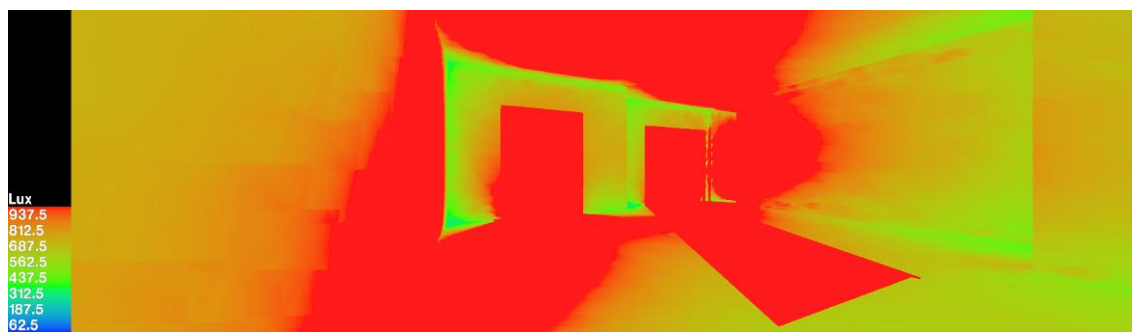
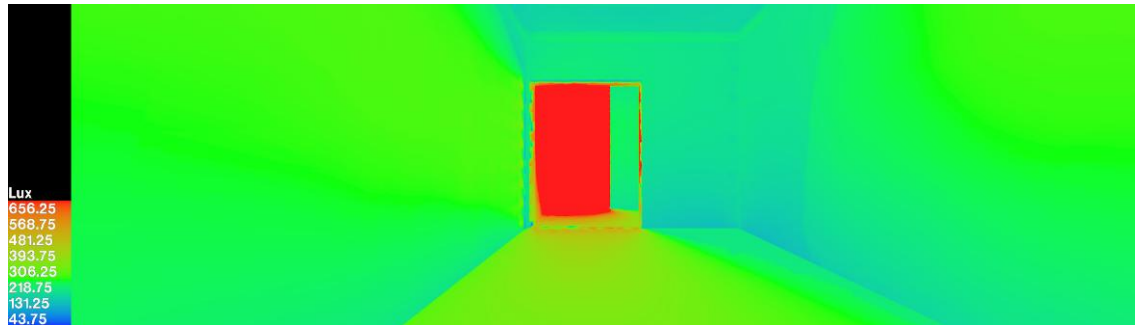


Figura XI.6 – Representação da iluminância em *false color* - Sala - 21 de Dezembro

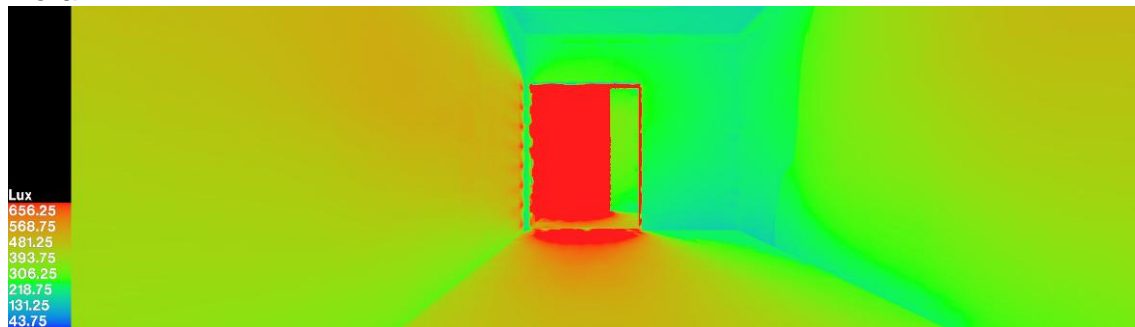
Divisão – Quarto 1

Data - 21 de Março

Hora – 9h



Hora – 12h



Hora – 17h

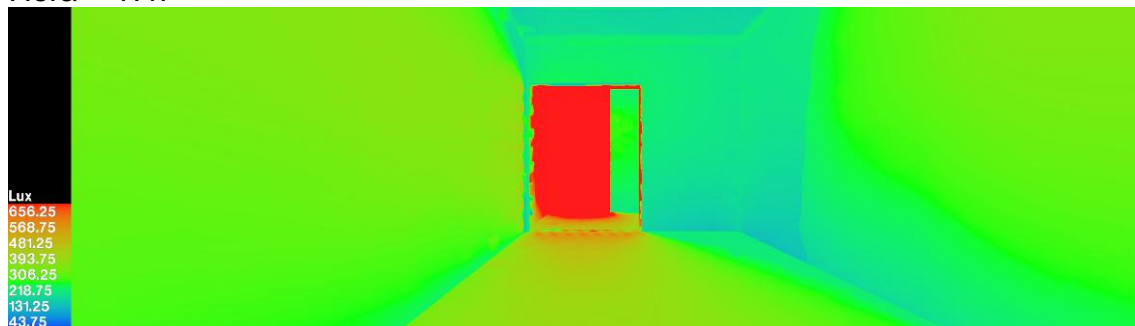
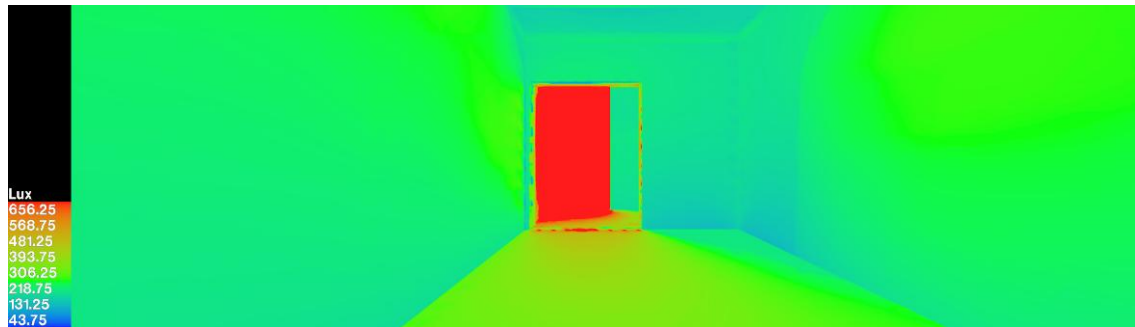


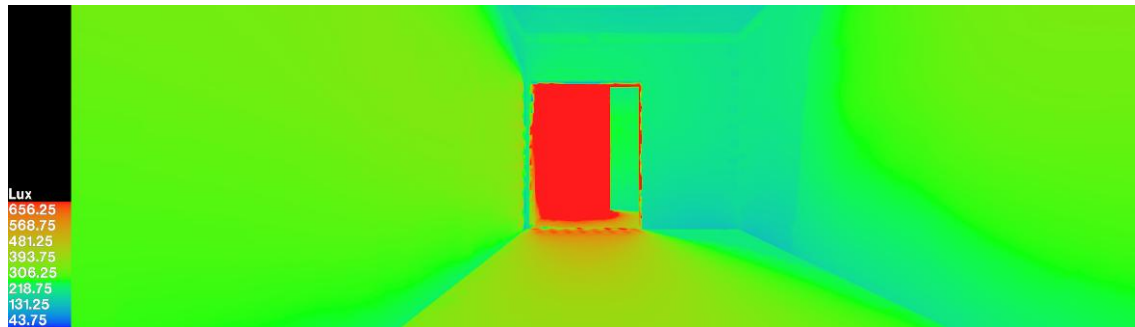
Figura XI.7 – Representação da iluminância em *false color* - Quarto 1 - 21 de Março

Data - 21 de Junho

Hora – 9h



Hora – 12h



Hora – 17h

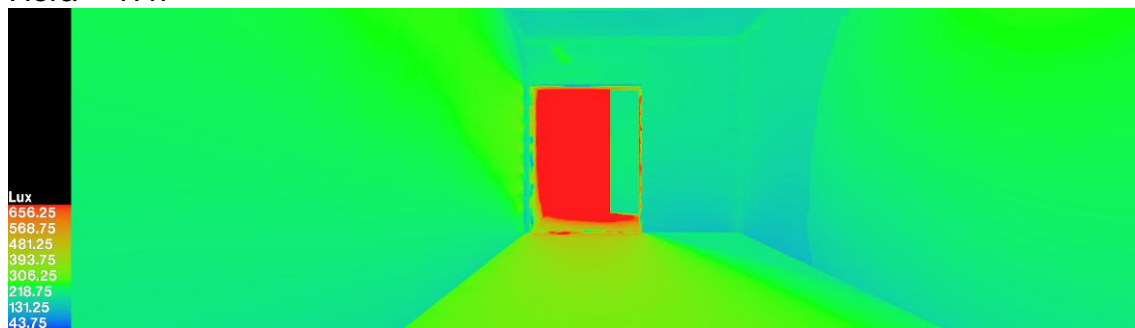
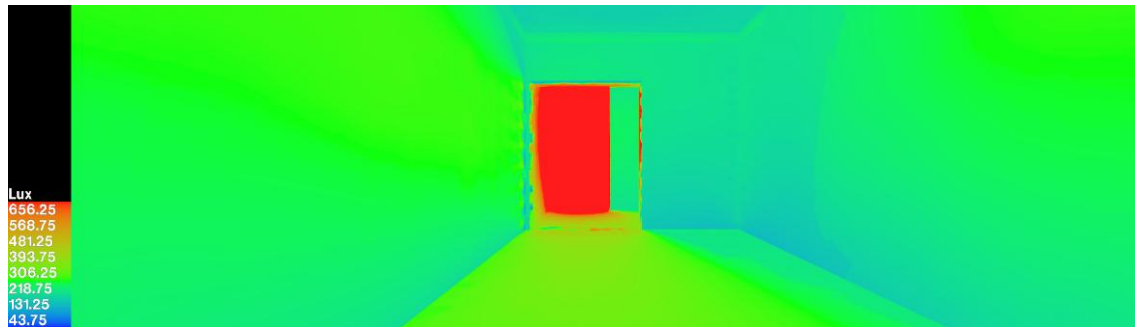


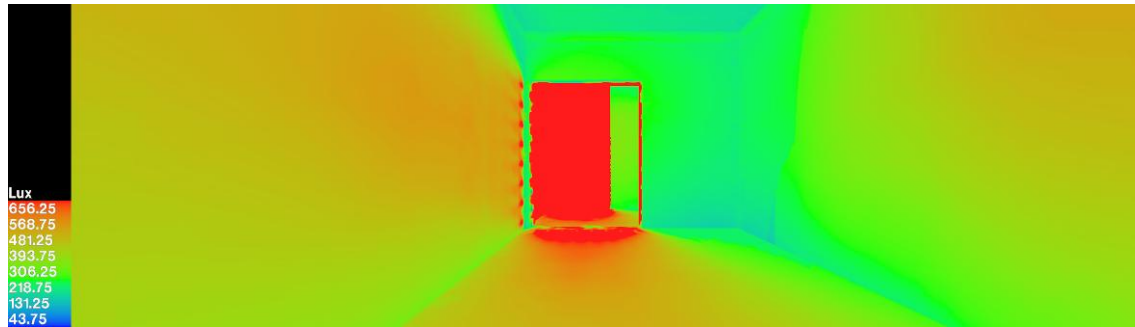
Figura XI.8 – Representação da iluminância em *false color* - Quarto 1 - 21 de Junho

Data - 21 de Dezembro

Hora – 9h



Hora – 12h



Hora – 15h

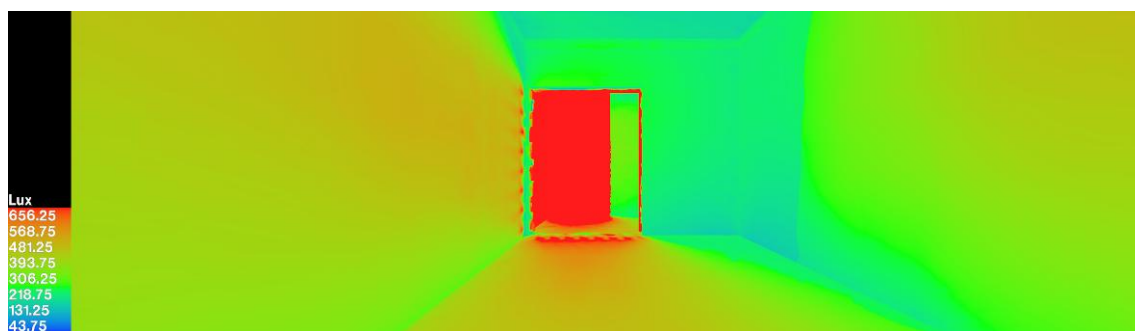
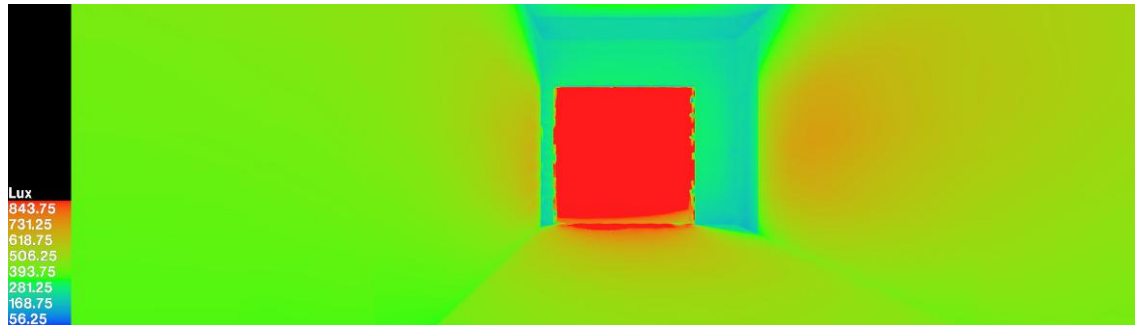


Figura XI.9 – Representação da iluminância em *false color* - Quarto 1 - 21 de Dezembro

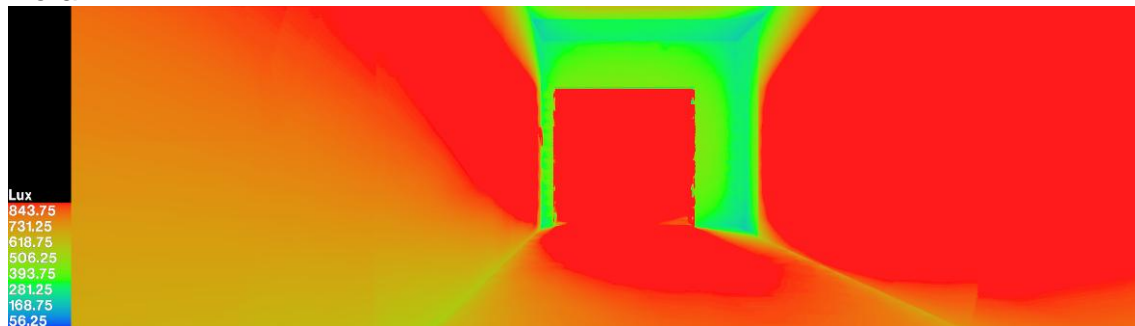
Divisão – Quarto 2

Data - 21 de Março

Hora – 9h



Hora – 12h



Hora – 17h

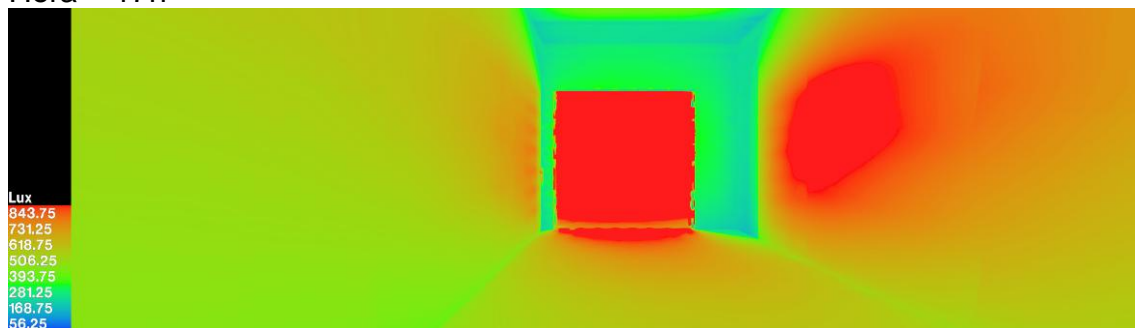
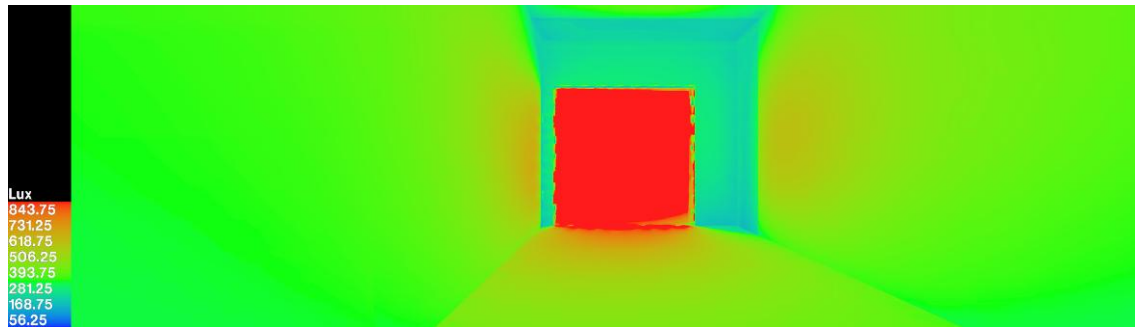


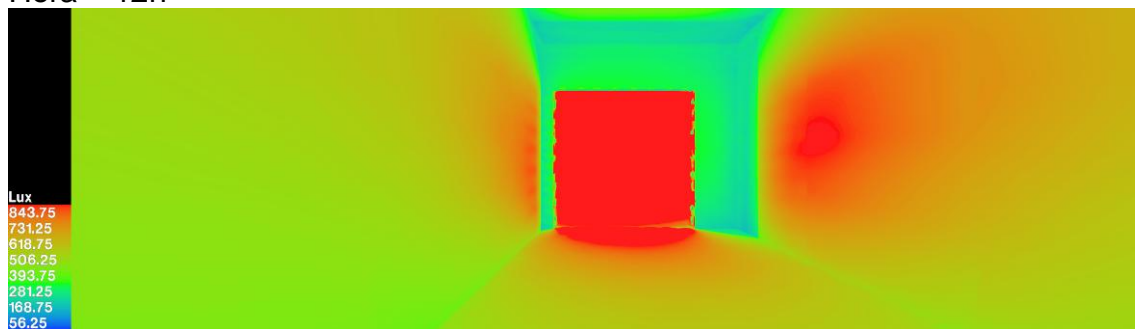
Figura XI.10 – Representação da iluminância em *false color* - Quarto 2 - 21 de Março

Data - 21 de Junho

Hora – 9h



Hora – 12h



Hora – 17h

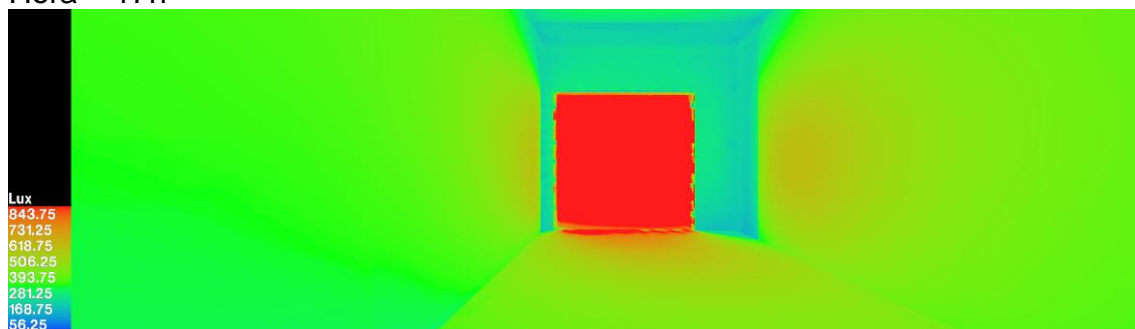
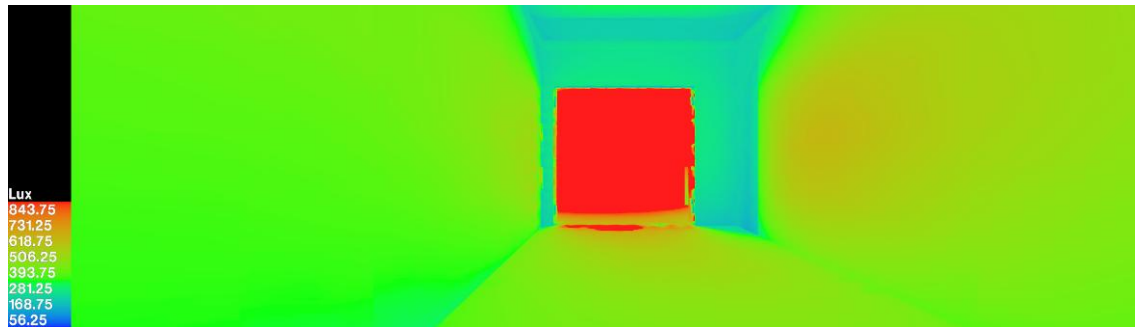


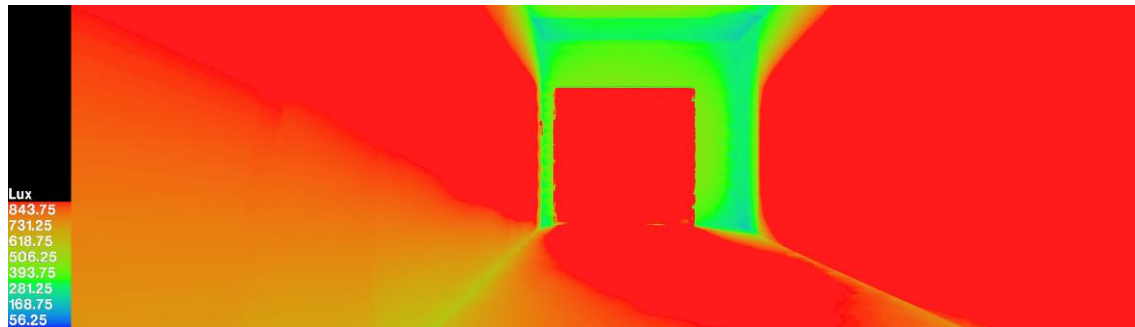
Figura XI.11 – Representação da iluminância em *false color* - Quarto 2 - 21 de Junho

Data - 21 de Dezembro

Hora – 9h



Hora – 12h



Hora – 15h

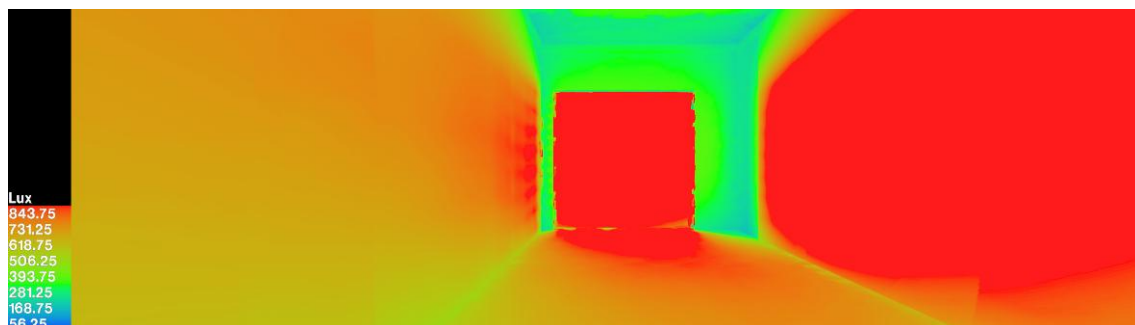
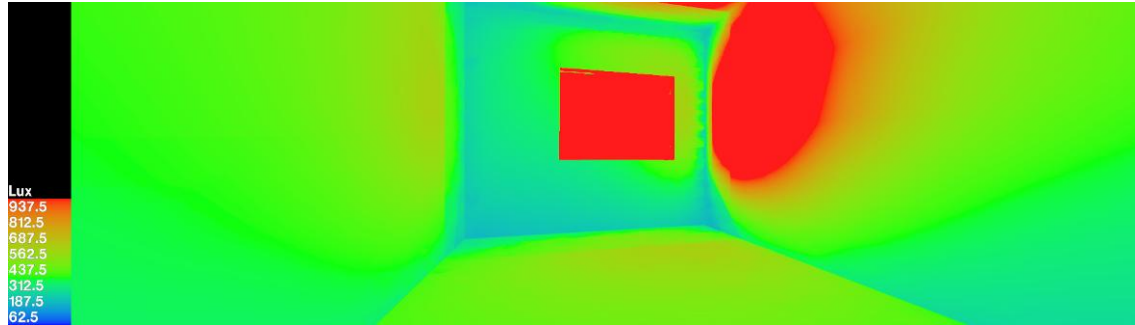


Figura XI.12 – Representação da iluminância em *false color* - Quarto 2 - 21 de Dezembro

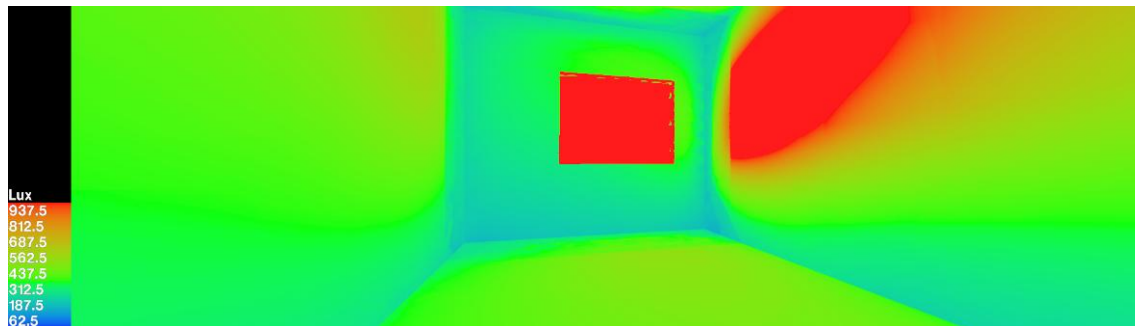
Divisão – Suite

Data - 21 de Março

Hora – 9h



Hora – 12h



Hora – 17h

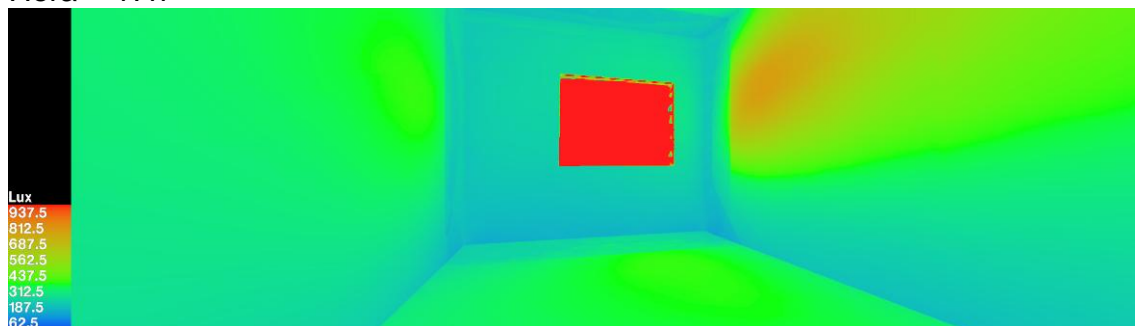
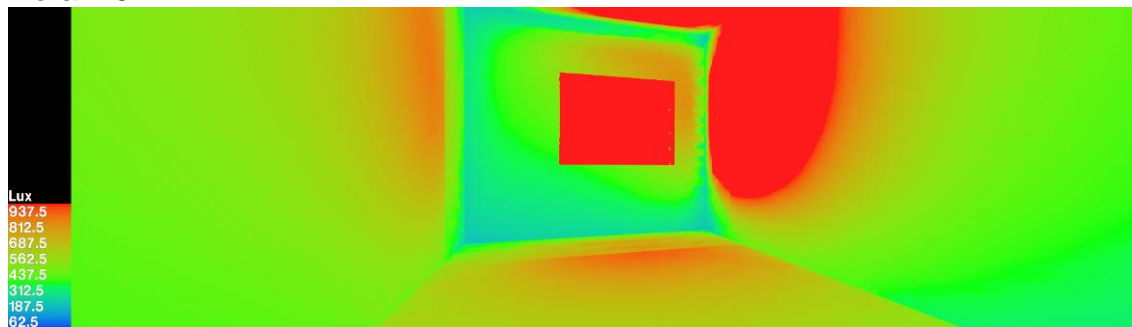


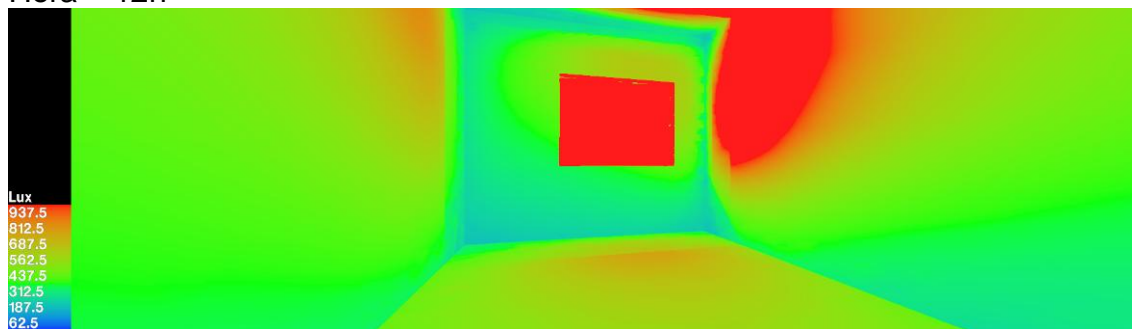
Figura XI.13 – Representação da iluminância em *false color* - Suite - 21 de Março

Data - 21 de Junho

Hora – 9h



Hora – 12h



Hora – 17h

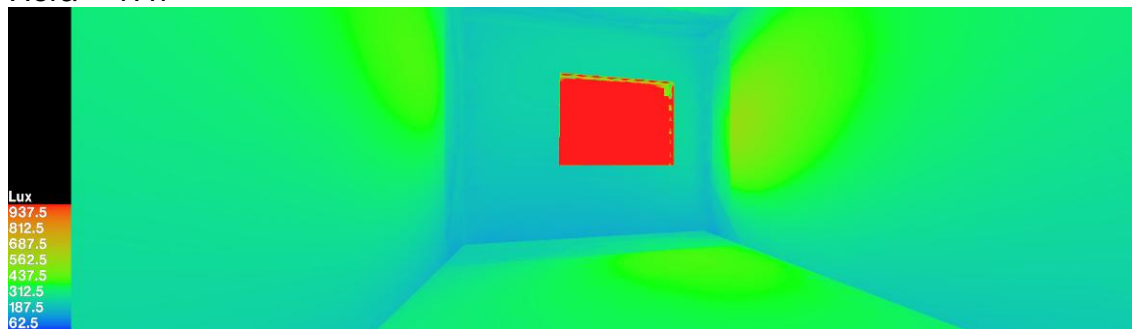
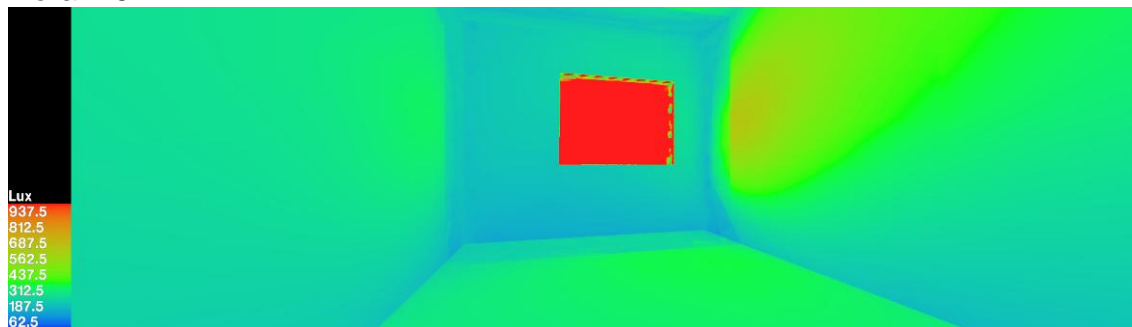


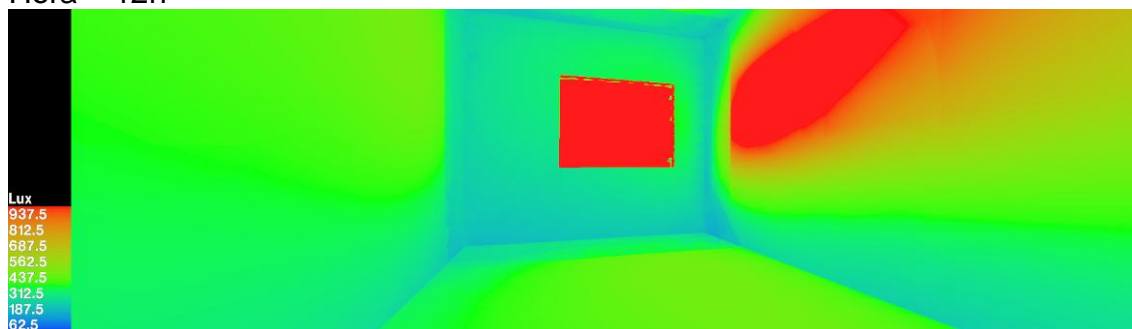
Figura XI.14 – Representação da iluminância em *false color* - Suite - 21 de Junho

Data - 21 de Dezembro

Hora – 9h



Hora – 12h



Hora – 15h

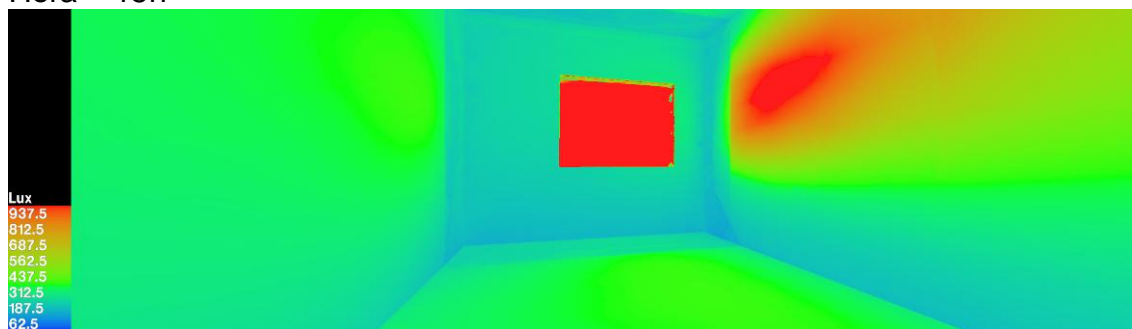


Figura XI.15 – Representação da iluminância em *false color* - Suite - 21 de Dezembro

Anexo XII – Demonstração do cálculo da área de janela para a sala

Verificação inicial:

Dimensões da sala – a = 6.35 m; b = 5.55 m; h = 2.65 m (como as dimensões da divisão estão compreendidas entre os valores limite do método este é aplicável).

1. $FLD_{R(min)} = 1 \%$ (valor retirado do anexo IX);
2. Reflectância média do tecto (ρ_c) = 80 % (valor retirado do anexo VIII);
Reflectância média das paredes da divisão que não tem janelas (ρ_w) – 80 % (valor retirado do anexo VIII);

A partir do gráfico temos que $K_p = 0.9$

3. $K_\tau = \tau_g \times \tau_f \times \tau_d = 0.8 \times 0.65 \times 0.6 = 0.312$

(valores retirados da tabela 5.2)

4. Tendo em conta não existirem obstruções do horizonte $K_o = 1$

5. Tabela XII.1 – Dfo x Ka (valores retirados do anexo III)

Df01	Ka1	Dfo1xKa1	A1
6	1	6	66
Df02	Ka2	Dfo1xKa2	A2
4,7	0,9	4,23	45
Df03	Ka3	Dfo1xKa3	A3
3,3	0,9	2,97	33
Df04	Ka4	Dfo1xKa4	A4
2	0,88	1,76	20

- 6.

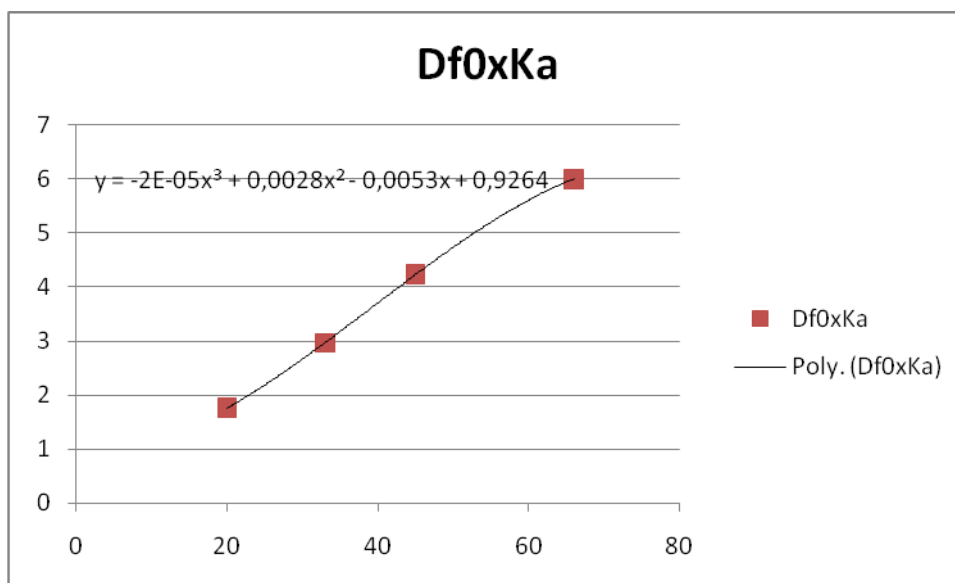


Gráfico XII.1 – Df0 x Ka

7. $A_{wR} = 37.08 \%$

8. $S_{wR} = 6.24 \text{ m}^2$

Anexo XIII – Representação dos modelos para a solução apresentada

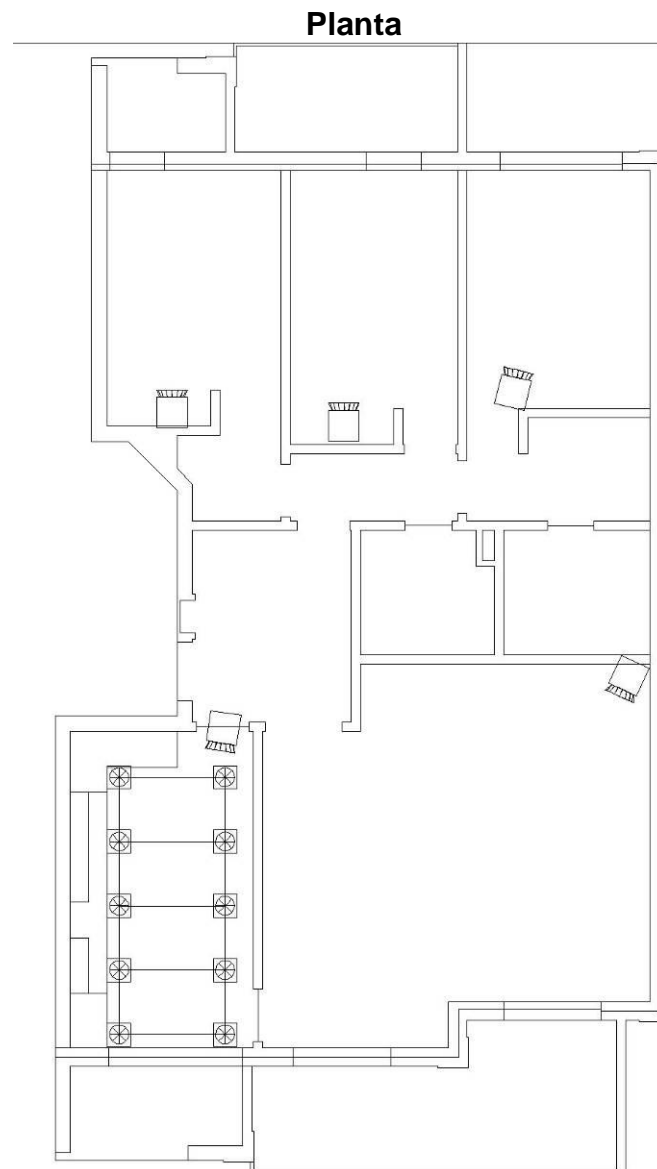


Figura XIII.1 – Representação dos modelos para a solução apresentada

Divisão - Cozinha



Divisão – Sala



Divisão – Quarto 1



Figura XIII.2 – Representação dos modelos para a solução apresentada – Cozinha, Sala, Quarto 1

Divisão – Quarto 2



Divisão – Suite

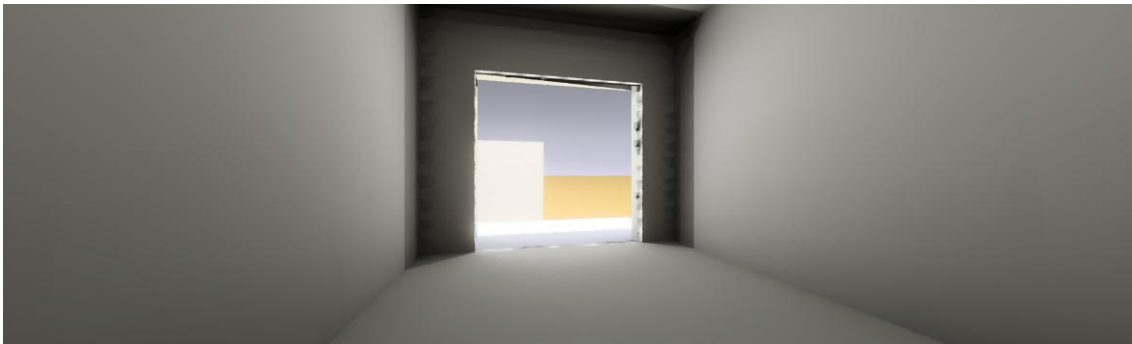


Figura XIII.3 – Representação dos modelos para a solução apresentada – Quarto 2 e Suite

Anexo XIV – Distribuição de Factor de Luz do Dia (solução apresentada)

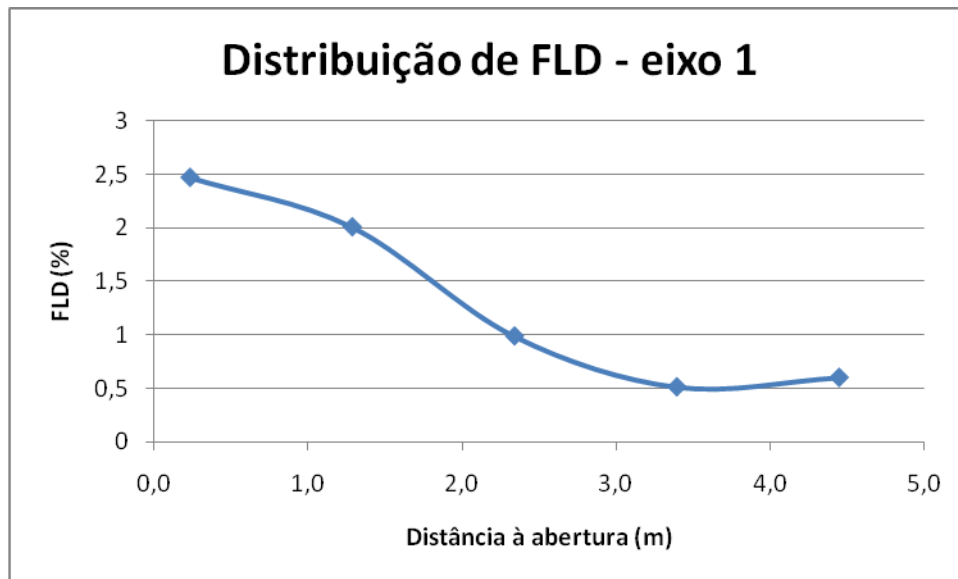


Gráfico XIV.1 – Distribuição de FLD – eixo 1 (solução apresentada)

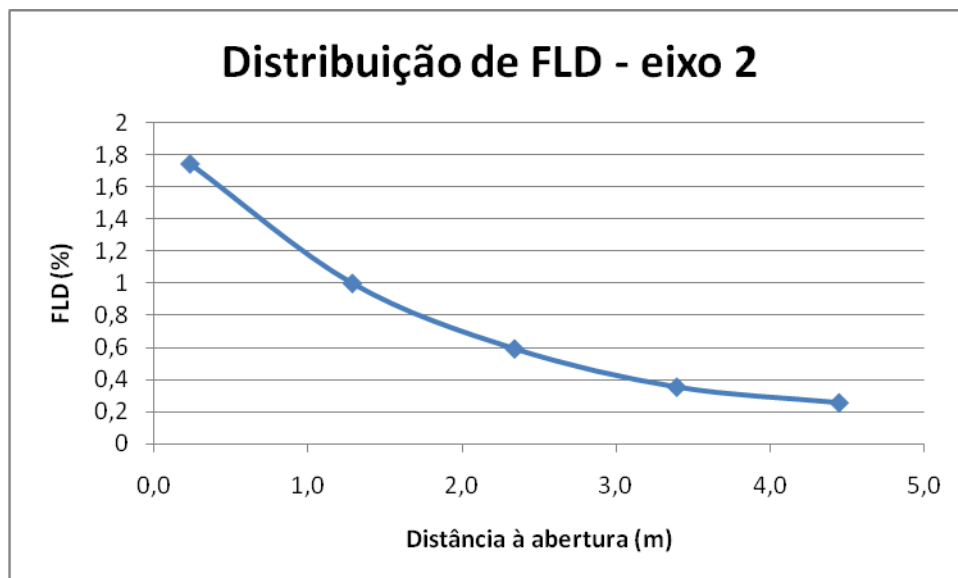


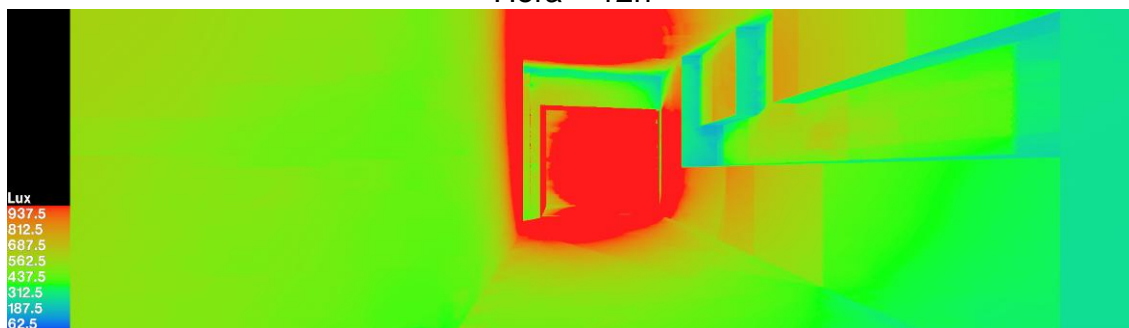
Gráfico XIV.2 – Distribuição de FLD – eixo 2 (solução apresentada)

Anexo XV – Representação da iluminância em *false color* para a solução apresentada

Divisão - Cozinha

Data - 21 de Março

Hora – 12h



Data - 21 de Junho

Hora – 12h



Data - 21 de Dezembro

Hora – 12h

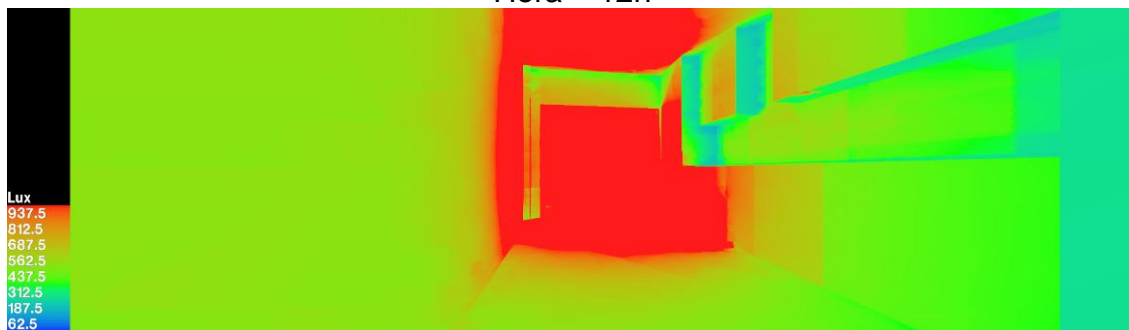
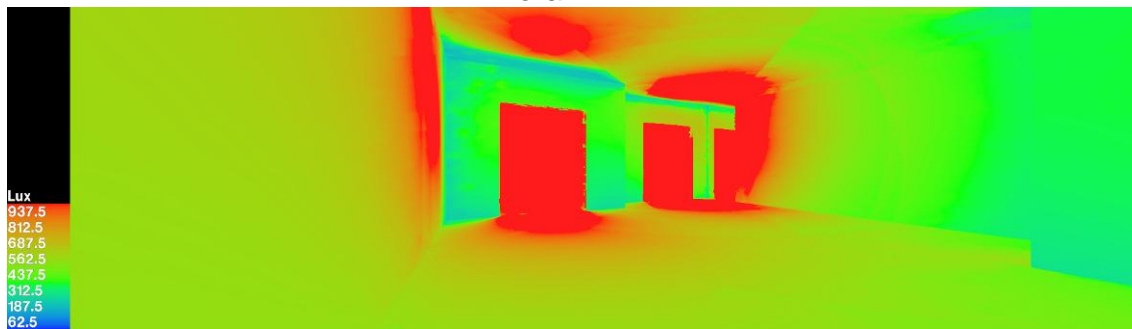


Figura XV.1 – Representação da iluminância em *false color* para a solução apresentada - Cozinha

Divisão - Sala

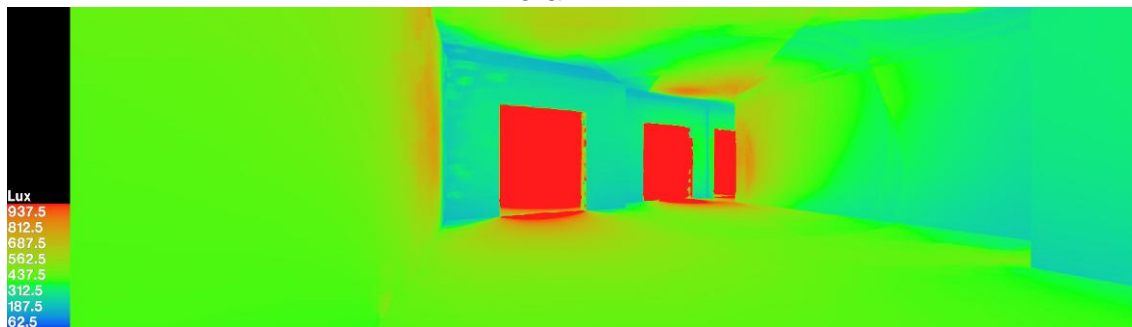
Data - 21 de Março

Hora – 12h



Data - 21 de Junho

Hora – 12h



Data - 21 de Dezembro

Hora – 12h

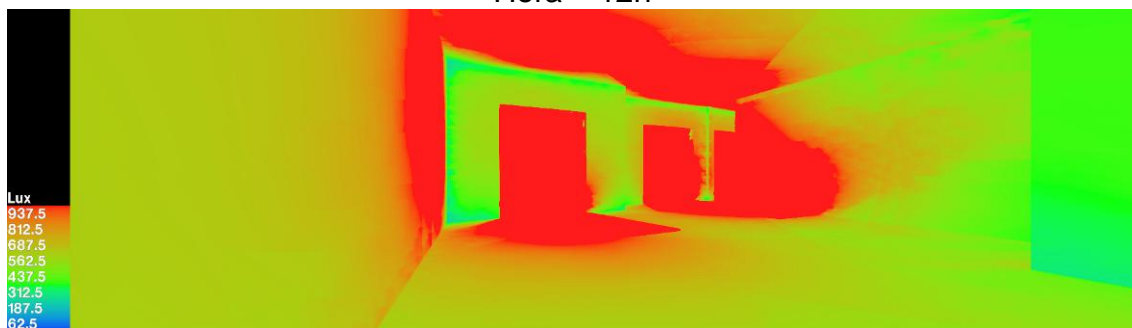
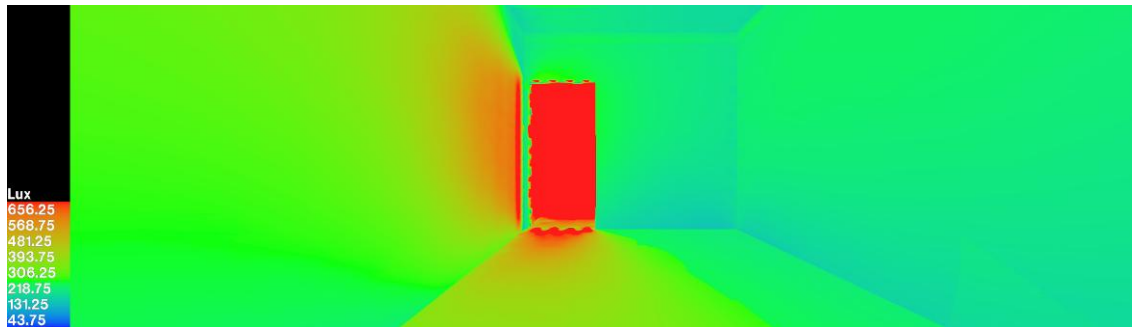


Figura XV.2 – Representação da iluminância em *false color* para a solução apresentada - Sala

Divisão – Quarto 1

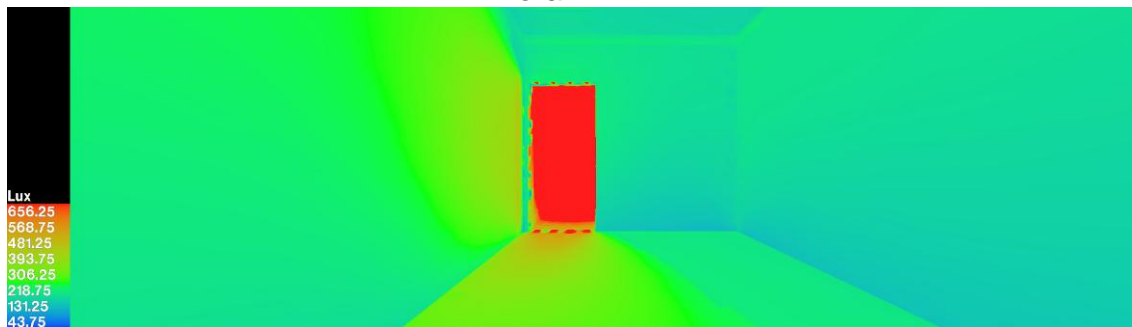
Data - 21 de Março

Hora – 12h



Data - 21 de Junho

Hora – 12h



Data - 21 de Dezembro

Hora – 12h

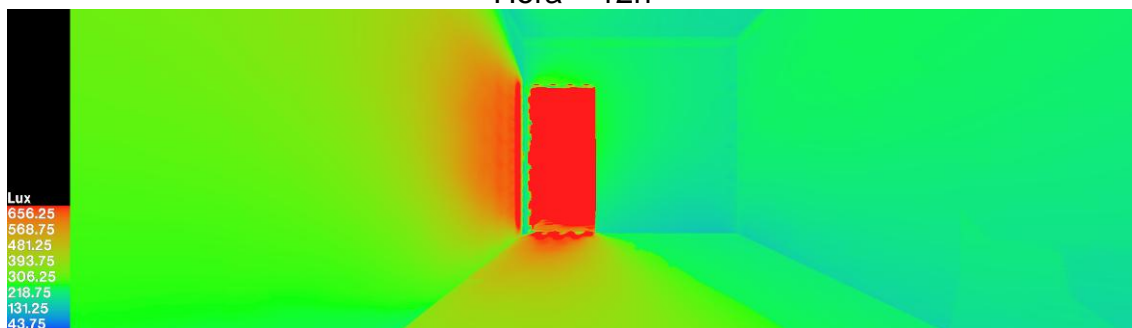
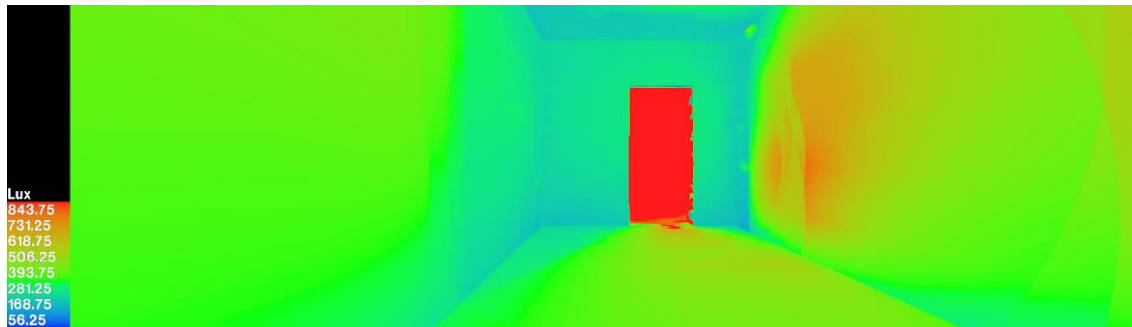


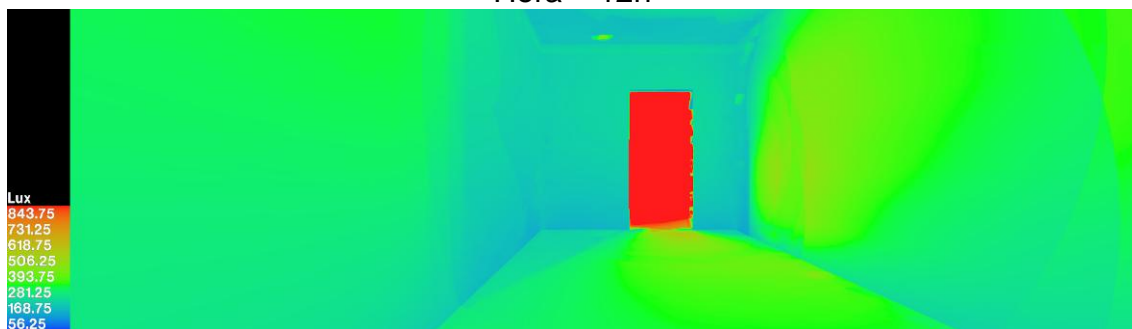
Figura XV.3 – Representação da iluminância em *false color* para a solução apresentada – Quarto 1

Divisão – Quarto 2

Data - 21 de Março
Hora – 12h



Data - 21 de Junho
Hora – 12h



Data - 21 de Dezembro
Hora – 12h

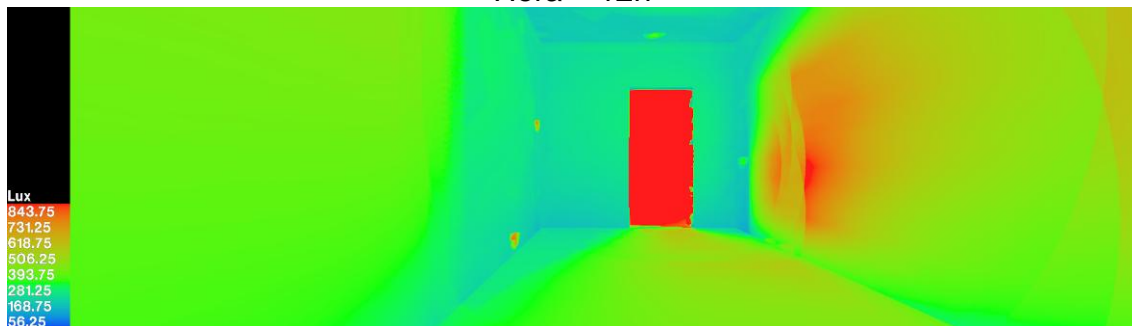
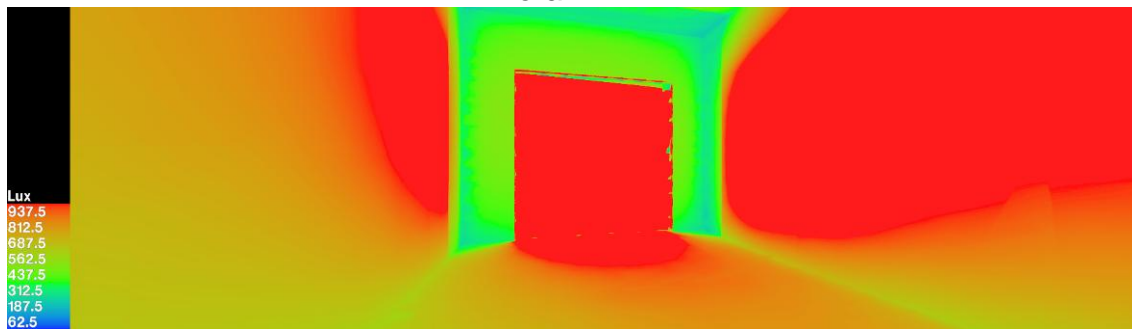


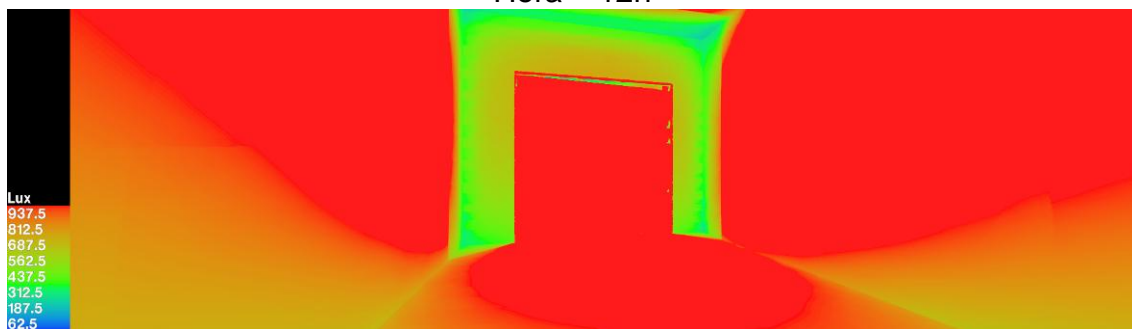
Figura XV.4 – Representação da iluminância em *false color* para a solução apresentada – Quarto 2

Divisão – Suite

Data - 21 de Março
Hora – 12h



Data - 21 de Junho
Hora – 12h



Data - 21 de Março
Hora – 12h

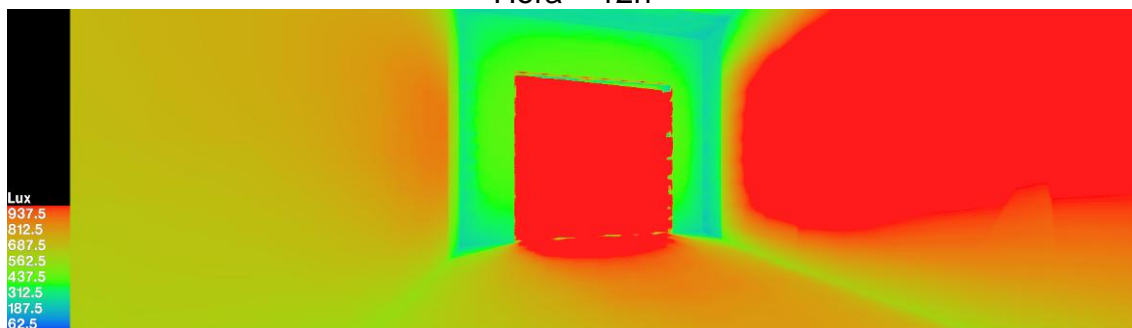


Figura XV.5 – Representação da iluminância em *false color* para a solução apresentada - Suite